DAS ELLENBOGENGELENK

UND

SEINE MECHANIK.

EINE ANATOMISCHE STUDIE

VON

J. WILH. HULTKRANTZ,
PROSEKTOR AN DEM KAROLINISCHEN INSTITUT ZU STOCKHOLM.

MIT 21 TEXTFIGUREN UND 4 TAFELN.

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1897.

The University Library
Leeds

Medical and Dental
Library

Morphol . Gustav
Schwalbe

Dieselb ist. Obwohl
zunächst da Strassburg
jederzeit schi ehmen doch
nicht hierauf ar Beiträge
aus dem ge sgeschichte,
sowie der A s Menschen
sehr willkom
Die H nentgeltlich.
Exemplare, ihnen zum
Herstellungsp

Sechster Band. — 1896.
Preis: 12 Ma
Inhalt: nfasern. —
Rawitz, Augen. —
Vigener, Topographie
der Papillen Ueber die
Vertheilung d

Siebenter Ban Text. —

Inhalt: Hyperthelie
menschlicher Milchdrüsen
überhaupt. — des Vogel-
embryos, inst Spannungs-
gesetz. — D sowie über
die Centralkö

Daraus ist

Mehnert, **Kainogenesis als Ausdruck differenter phylogenetischer Energien.** Mit 21 Textabbildungen und 3 Tafeln. 1897. Preis: 10 Mark.

Retzius, Professor Dr. Gustaf, **Biologische Untersuchungen.** Neue Folge, **VII. Band.** Mit 15 Tafeln. 1895. Preis 24 Mark.

Inhalt: 1. Ueber ein dem Saccus vasculosus entsprechendes Gebilde am Gehirn des Menschen und anderer Säugethiere. Tafel I. 2. Zur Kenntniss des Gehirnganglions und des sensiblen Nervensystems der Polychäten. Tafel II u. III. 3. Das sensible Nervensystem der Crustaceen. Tafel IV—VI. Ueber die Hypophysis von Myxine. Tafel VII, Figur 1 u. 2. 5. Ueber den Bau des sog. Parietalauges von Ammocoetes. Tafel VII, Figur 3—5. 6. Ueber das hintere Ende des Rückenmarkes bei Amphioxus, Myxine und Petromyzon. Tafel VIII u. IX. 7. Ueber den Bau des Rückenmarkes der Selachier. Tafel X—XII. 8. Ueber einige normal durch Ankylose verschwindende Kapselgelenke zwischen den Bogen der Sacralwirbel. Tafel XIII. 9. Ueber Molluscum contagiosum. Tafel XIV. 10. Ueber die Vererbung erworbener Eigenschaften. Tafel XV.

Um den Käufern dieses und des VI. Bandes die Anschaffung der vorhergehenden Bände zu erleichtern, ist der Preis auf 120 Mark ermässigt worden.

Soeben erschien:

—— **Das Menschenhirn.** Studien in der makroskopischen Morphologie. Mit einem Atlas von 96 Tafeln in Lichtdruck und Lithographie. 1897. Preis 100 Mark.

Wiedersheim, Dr. Robert, o. ö. Professor der Anatomie und Direktor des anatom. und vergl. anatom. Instituts der Universität Freiburg i. Br., **Das Gliedmassenskelet der Wirbelthiere** mit besonderer Berücksichtigung des Schulter- und Beckengürtels bei Fischen, Amphibien und Reptilien. Mit 40 Figuren, und einem Atlas von 17 Tafeln und 17 Blatt Erläuterungen. 1892. Preis 24 Mark.

DAS ELLENBOGENGELENK

UND

SEINE MECHANIK.

EINE ANATOMISCHE STUDIE

VON

J. WILH. HULTKRANTZ,
PROSEKTOR AN DEM KAROLINISCHEN INSTITUT ZU STOCKHOLM.

MIT 21 TEXTFIGUREN UND 4 TAFELN.

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1897.

605734

DRUCK VON IVAR HÆGGSTRÖM IN STOCKHOLM.

Inhalt.

Einleitung 1

Erster Abschnitt.

Der Bau des menschlichen Ellenbogengelenks.

Kap. I. Die Knochen 4
» II. Zur Anthropologie des Armskeletts 8
» III. Die funktionelle Gestalt und Struktur der Knochen des Ellenbogengelenks 18
1. Einige Sätze aus der Festigkeitslehre 19
2. Die mechanischen Beanspruchungen der Knochen des Ellenbogengelenks 21
3. Die Architektur der Knochen des Ellenbogengelenks 26
» IV. Die Knorpel und die Gelenkflächen 40
» V. Die Kapsel und die Bänder 51
» VI. Die umgebenden Weichtheile 59

Zweiter Abschnitt.

Die Bewegungen des menschlichen Ellenbogengelenks 70

A. Die Flexion und Extension 74
B. Die Pronation und Supination 78

Dritter Abschnitt.

Die Entwickelung des menschlichen Ellenbogengelenks.

Kap. I. Die embryonale Entwickelung 84
» II. Die postembryonale Entwickelung 92

Vierter Abschnitt.

Zur vergleichenden Anatomie des Ellenbogengelenks.

Kap. I. Einleitende Bemerkungen 97
» II. Zur vergleichenden Osteologie des Ellenbogengelenks 101
» III. Das Ellenbogengelenk bei den verschiedenen Klassen und Ordnungen der Wirbelthiere 106
A. Amphibien 108
B. Reptilien 109
C. Vögel 111
D. Säugethiere 112
» IV. Morphologische Ergebnisse 128
Litteratur 145
Erklärung der Tafeln 149

Einleitung.

Unter dem Ellenbogengelenk im eigentlichen Sinne ist nur die Gelenkverbindung zwischen den beiden proximalen Segmenten der freien vorderen Extremität, die Verbindung des Humerus mit dem Antibrachium, zu verstehen. Mit diesem Gelenke steht aber die obere, proximale Verbindung der beiden Unterarmknochen sowohl topographisch, wie funktionell und genetisch in einem sehr nahen Zusammenhang. Die Synovialhöhle ist beiden diesen Gelenken gemeinsam, und das sind auch zum grossen Theile die Bänder; dieselben Muskeln setzen beide Gelenke in Bewegung, und die Bewegungen im Radioulnargelenk können sämmtlich nicht ohne entsprechende Verschiebungen des einen oder beider Unterarmknochen gegen den Humerus ausgeführt werden. Es ist also Grund genug vorhanden, die obere Verbindung der Unterarmknochen mit einander zu dem Ellenbogengelenk im weiteren Sinne zu rechnen, was ich auch im Folgenden thue.

Das Ellenbogengelenk hat sich schon lange des besonderen Interesses der Anatomen und Physiologen zu erfreuen gehabt; vor allem ist es seine Theilnahme an den Pronations- und Supinationsbewegungen, aber auch seine ziemlich typische Anordnung als ein Ginglymusgelenk, wodurch es die Aufmerksamkeit auf sich zog. Bei einer Durchmusterung der einschlägigen, ziemlich grossen Litteratur wird man jedoch finden, dass die meisten Arbeiten nur die eine oder die andere specielle Frage behandeln, ohne auf die übrigen damit zusammenhängenden Fragen gebührende Rücksicht zu nehmen. — Dadurch haben zwar gewisse Einzelheiten eine sehr vollständige und erschöpfende Behandlung erfahren, andere Fragen sind aber ohne Antwort geblieben, oder auch findet man in Betreff derselben die streitigsten Angaben. Beispiele hiervon werde ich im Folgenden mehrere anführen können.

Der Zweck dieser Arbeit war, eine möglichst vielseitige Bearbeitung von diesem Abschnitte der Gelenklehre zu geben; wobei ich vor allem die Wechselbeziehungen der Funktion und der Form berücksichtigen wollte. Die Zweckmässigkeit der Gestalt und der Struktur für die Mannigfaltigkeit der Leistungen habe ich in ihren wesentlichen Einzelheiten zu ermitteln gesucht.

Die funktionelle Bedeutung vieler Details in dem Bau des menschlichen Ellenbogengelenks kann aber nur durch eine Vergleichung mit den entsprechenden Theilen der Thiere erkannt werden. — Und zwar wird man sich dann oft mit der grössten Aussicht auf Erfolg zu solchen Thierformen wenden können, die für den einen oder anderen Zweck eine besonders specialisirte Organisation haben. Gegen verfrühte Schlussfolgerungen kann man sich aber nur dadurch ziemlich sichern, dass man möglichst viele verschiedene Formen untersucht. Hierin liegt der Grund, weshalb ich den vergleichend anatomischen Untersuchungen sowohl während des Studiums, wie in der vorliegenden Abhandlung einen so grossen Raum zugetheilt habe.

Bei den fast rein mechanischen Aufgaben des Ellenbogengelenks hatte ich in erster Reihe die für die Bewegungsmechanik direkt massgebenden Theile in Betracht zu ziehen. Auf die Gestalt der Knochen und ihrer Gelenkflächen, auf die Anordnung der Ligamente und der auf das Gelenk wirkenden Muskeln musste ich die hauptsächliche Aufmerksamkeit richten und dann die typischen Bewegungen des Gelenks untersuchen, um dem ursächlichen Zusammenhang dieser verschiedenen Faktoren auf die Spur zu kommen. — Die Topographie der Cubitalregion konnte ich viel kürzer behandeln und die Gefässe und die Nerven nur ganz beiläufig berühren.

Bei der Arbeit ergab es sich bald, dass die Wechselungen in dem Bau und den Bewegungen des Ellenbogengelenks der einzelnen Individuen viel grösser waren, als man hätte erwarten können. Wollte ich also die Gefahr vermeiden, zufällige, individuelle Befunde zu verallgemeinern, was viele meiner Vorgänger gethan haben, musste ich die Untersuchung auf eine grössere Anzahl Individuen ausdehnen. Dadurch wurde es aber auch nöthig auf das Eingehen in die feinsten Einzelheiten der Grössen- und Formenverhältnisse zu verzichten und etwas einfachere und weniger umständliche Untersuchungsmethoden anzuwenden. Für meinen Zweck war eine mathematisch exakte Analyse der Krümmungen der Gelenkflächen oder der Bahnen der Bewegungen nicht erforderlich. Es galt ja nur das typische Verhalten des betreffenden Organs, das Wesentliche in seinem Bau und in seiner Funktion zu ermitteln und soweit möglich zu erklären. — Für ein genaueres Studium der zufälligen Abweichungen von dem gewöhnlichen Typus

und der seltneren Anomalien erwies sich mein Material nicht gross genug.

Die weiteren Aufgaben, die ich mir stellte, waren dann, die Ontogenese des Ellenbogengelenks beim Menschen von Stufe zu Stufe zu verfolgen und den Versuch zu machen, aus den Ergebnissen der komparativen Untersuchungen einige Schlüsse in Betreff der Schicksale dieses Organs in der Stammesgeschichte des Thierreichs zu ziehen.

Es ist ja einleuchtend, dass ich mit dem genannten Plane für meine Arbeit einerseits der Vollständigkeit halber längst bekannte Thatsachen berühren musste, anderseits mir verschiedene Abweichungen von meinem Hauptthema, wo solche mir von besonderem Interesse zu sein schienen, erlauben konnte. Die Begrenzung meiner Arbeit wird deshalb vielleicht etwas willkürlich erscheinen; dieses liegt aber grösstentheils in der Natur des Stoffes selbst.

Was die Litteratur anbetrifft, so habe ich die Specialarbeiten über hierhergehörige Fragen möglichst vollständig zu berücksichtigen gesucht; in welcher Umfassung dies geschah, geht aus dem nachstehenden Litteraturverzeichniss hervor. Dieses Verzeichniss kann aber keine Ansprüche auf Vollständigkeit machen, da z. B. die ganze Hand- und Lehrbuchlitteratur, worin doch viele in dieser Arbeit berührten Fragen ziemlich eingehend behandelt werden, in dasselbe gar nicht aufgenommen werden konnten.

In der Darstellung solcher Thatsachen, die sich die gebräuchlichen, anatomischen Lehrbücher schon zu eigen gemacht haben, habe ich die Litteraturangaben als überflüssig erachtet, um so mehr da es mir oft unmöglich war, das Prioritätsrecht zu bestimmen. — Wenn ich auch bisweilen nicht besonders betont habe, wo meine Darstellung von den gewöhnlichen Lehren abweicht oder sie in irgend welcher Weise ergänzt, wird es doch hoffentlich dem kundigen Leser nicht entgehen, wo es mir gelang, etwas Neues zu erbringen.

Die Untersuchungen sind hauptsächlich in der anatomischen Anstalt des Karolinischen Instituts und der zootomischen Anstalt der Hochschule zu Stockholm ausgeführt worden. Den Herren Professoren A. Lindström und W. Leche, die mir in zuvorkommender Weise das nöthige Material zu Verfügung gestellt haben, sei hier mein ergebenster Dank ausgesprochen. — Zu besonderem Dank fühle ich mich ferner Herrn Dr. G. Kobb verpflichtet, dem ich die mechanischen Erörterungen zur Prüfung unterstellen durfte.

ERSTER ABSCHNITT.

Der Bau des menschlichen Ellenbogengelenks.

Kap. I. Die Knochen.

Dem proximalen Segmente der freien vorderen Extremität gehört nur ein Knochen, der Humerus, an; das nächste Segment wird aus zwei Strahlen, der Ulna und dem Radius, gebildet. Morphologisch sind die letzteren Knochen einander gleichwerthig; beim Menschen sind sie auch ziemlich gleich stark entwickelt, haben aber eine etwas verschiedene funktionelle Aufgabe und deswegen auch nicht die gleiche Gestalt. — Von den Armknochen habe ich hier vor allem den eigentlichen Gelenktheil und die demselben zunächst liegende Partie des Schaftes zu berücksichtigen. Die feineren Formenverhältnisse der artikulirenden Flächen werde ich später besonders behandeln.

Humerus. Das untere, breitere und plattere Ende des Oberarmknochens ist schwach nach vorne gebogen und hat eine vordere gewölbte und eine hintere ziemlich ebene, unten sogar etwas querkonkave Fläche, welche in den beiden Seitenrändern zusammentreffen. Der laterale Seitenrand ist stärker und mehr hervorragend, oft etwas nach vorne umgebogen und hat in Folge der Muskelansätze eine rauhe Oberfläche. — Der mediale Rand ist mehr abgerundet und zeigt an seiner stärksten Wölbung oder etwas vor derselben oft eine feine Leiste für den Ansatz des Septum intermusculare mediale. Nicht selten sieht man etwa $^1/_2$—1 cm vor derselben an der vordern Fläche des Knochens eine zweite, gewöhnlich schwächere, vertikale Leiste für eine kleine intramusculäre Aponeurose des Brachialis (s. u.). Diese Leiste erhebt sich bisweilen circa 6 cm oberhalb des Epicondylus medialis zu einem kleinen, hakenförmigen Knochenfortsatz, dem Processus supracondy-

loideus. — Beide Seitenränder gehen nach unten ohne bestimmte Grenze in die Epicondylen über. Der Epicondylus medialis ist stärker hervorragend und etwas nach hinten gerichtet, der Epic. lateralis flacher und breiter und eher nach vorne gekehrt.

Zwischen den beiden seitlichen Höckern liegt die quere Gelenkrolle mit einem lateralen Kugelsegmente, das Capitulum, für die Artikulation mit dem Radiuskopf und einer medialen rollenförmigen Fläche, der Trochlea, für die Ulna. Eine Sagittalebene durch die Längsachse des Humerus trifft die Grenze dieser beiden Flächen oder geht etwas mehr medialwärts durch die ulnare Fläche; eine Frontalebene durch dieselbe Achse hat gewöhnlich die ganze Gelenkrolle vor sich. Der mediale Theil dieser Rolle ragt weiter als der laterale nach unten.

Oberhalb der Trochlea sehen wir an der Vorderseite des Knochens eine quergestellte ovale Grube, oberhalb des Capitulum eine kleinere, nicht ganz konstante. Diese Fossæ coronoidea und radialis werden durch eine Leiste von einander getrennt, die bisweilen einen kleinen Stachel trägt. Die Gelenkfläche des Capitulum endigt schon an der Mitte der untern Endfläche des Knochens; hinter ihr liegt die rauhe und von reichlichen Vasa nutricia durchlöcherte hintere Seite des Epicond. lateral. Die Trochlea setzt sich auf der hinteren Seite fort und endigt in der grossen, abgerundet dreieckigen Fossa olecrani. Der mediale, spitzere Winkel dieser Fossa greift auf den Epicond. med. über; die laterale Begrenzung derselben setzt sich gewöhnlich in den scharfen äusseren Rand der Trochlea fort. Die obere Ecke ist weniger tief, als der übrige Theil der Grube und zeigt immer ein oder mehrere Ernährungslöcher. Durch die Fossæ coronoid. und olecr. wird eine gabelige Spaltung des untern Endes der Diaphyse eingeleitet. Nur eine dünne Scheidewand vereinigt die beiden Schenkel; auch diese Wand ist nicht selten durchbrochen. Dem Anscheine nach steht eine solche Perforatio olecrani etwa ebenso oft mit einer stärker ausgehöhlten Fossa coronoidea, wie mit einer abnormen Vertiefung der Fossa olecrani in Zusammenhang.

Der mediale Rand der Trochlea springt in seiner ganzen Ausdehnung ziemlich scharf hervor; zwischen ihm und der hintern Fläche des Epic. medial. wird eine weite Furche gebildet, die von dem hier verlaufenden N. ulnaris ihren Namen hat. Der laterale Rand ist nur an der hintern Seite schärfer hervorragend; auch hier sieht man nicht selten eine ähnliche, aber kleinere Furche, die sich zwischen dem Epicond. lateral. und dem Capit. hum. nach vorne fortsetzt und in welche sich mehrere kleine Foram. nutric. öffnen. Diese Furche ist als ein Sulcus paraglenoidalis (Löhr 82) aufzufassen, obwohl sie mehr durch eine Wucherung des Randes der Gelenkfläche, als durch die Entwickelung einer Crista paraglenoidalis (Tornier 90) gebildet

wird. Die starken äussern Fasern der Kapsel, an deren Ansatzstelle sich eine solche Crista zu entwickeln pflegt, sind mit den übrigen, vom Epicondylus entspringenden Sehnenfasern, die den Hilfsbändern und den Muskelsehnen angehören, zu intim vereinigt, um ihre besondere Knochengräte zu bilden; diese geht in den Epicondylus auf[1]).

Ulna. Der obere Endtheil der Ulna hat an seiner vordern Seite eine tief ausgeschnittene Incisura semilunaris für die Artikulation mit der Humerusrolle. Die obere Begrenzung derselben bildet der Schnabel des Olecranon, die untere der noch stärker hervorragende Processus coronoideus. Die obere Fläche des Olecranon hat hinten Rauhigkeiten für den Tricepsansatz; bei älteren Personen sehen wir am hintern Rande nicht selten einen stärkeren Vorsprung; vorne ist oft eine flache Einsenkung, die sich nach beiden Seiten in kleine Furchen hinter den hervorragenden Rändern der Incisura semilun. fortsetzt. Auch diese Einsenkung ist gewöhnlich von Ernährungslöchern perforirt. Die genannten Furchen scheinen mir mehr als die am Humerus vorhandenen mit den Löhr'schen Sulci paraglenoidales übereinzustimmen, indem sie hinten gewöhnlich von einer kleinen, zum Kapselansatz dienenden Crista paraglenoidalis begrenzt werden.

Der Processus coronoideus bildet medialwärts einen sehr starken konsolenartigen Vorsprung, der nach unten in einen Kamm ausläuft; Oberhalb desselben zeigt der mediale Rand der Incis. semil. eine tiefe Einkerbung. Auch der laterale Rand der Incisura ist in dieser Höhe etwas ausgeschnitten. Zwischen diesen beiden Einbuchtungen zieht quer über die Incisura oft eine Rauhigkeit der Knochenfläche, bisweilen eine wirkliche Knochenleiste. — An der lateralen Seite des Kronenfortsatzes finden wir die flache, konkav-cylindrische Incisura radialis für den Radiuskopf. Der hintere, gewöhnlich scharfe Rand dieser Incisur kann nach unten direkt in die Crista m. supinatoris übergehen, oder von ihr durch eine kleine Furche getrennt sein[2]).

Der Ulnaschaft setzt sich nicht gerade nach unten von dem Ge-

---

[1]) Bei senilen Skeletten findet man am Humerus oft arthritische Knochenexcrescensen an den Seitenrändern der Gelenkfläche, namentlich aber am medialen Rand der Trochlea. Ein anderer bevorzugter Platz solcher Wucherungen ist der obere Theil der Fossa coron.; etwas seltener finden wir sie in der Fossa radial. und in der obern Ecke der Fossa olecrani.

[2]) Arthritische Knochenwucherungen trifft man an der Ulna am häufigsten am Processus coronoideus und an der untern Hälfte des medialen Randes der Incisura semilun., nicht selten auch an dem äussern Rande der zum Olecranon gehörenden Gelenkfläche.

lenktheil fort, sondern weicht etwas lateralwärts ab. An seiner vordern Seite bemerken wir unterhalb des Kronenfortsatzes eine rauhe Tuberositas ulnæ für den Brachialisansatz. Unterhalb der Incisura radialis liegt eine kleine Grube mit Foramina nutricia; (solche findet man auch am lateralen Theil der Vorderfläche des Proc. coron.). Nach hinten wird diese Grube von der schon erwähnten Crista m. supin. begrenzt, die etwas schräg nach hinten herabläuft, um sich an der lateralen Fläche des Schaftes zu verlieren. Die ziemlich breite Hinterfläche des Olecranon wird nach unten immer schmäler und geht schliesslich in den scharfen hintern Rand des Schaftes über. Der unterhalb der Tuberositas ulnæ dreiseitig prismatische Schaft verjüngt sich nach unten und zeigt eine Andeutung einer Spiraldrehung in pronatorischer Richtung.

Radius. Das obere Ende des Radius bildet einen Gelenkkopf, der besonders an der (bei halber Supination) medialen Seite scharf vom Hals abgesetzt ist. Die hier befindliche cylindrische Seitenfläche (Circumferentia articularis) wird nach vorne und hinten immer schmäler und geht in die laterale, schräg abfallende Seitenfläche über [1]). Die obere Fläche des Kopfes ist etwas lateralwärts von ihrer Mitte schwach ausgehöhlt (Fovea capituli); der mediale halbmondförmige Randabschnitt ist schwach konvex.

Der Hals, der oben am ganzen Umfang von feinen Ernährungslöchern perforirt ist, ist gleich dem obern Viertel des Schaftes ziemlich cylindrisch; an der medialen Seite ragt die starke Tuberositas radii hervor, deren vorderer Theil mehr flach und eben als die hintere, für die Bicepsinsertion abgesehene Partie ist. In dieser Höhe macht die Achse des Knochens einen lateralwärts offenen Winkel, der bei halber Supination in der Frontalebene liegt. In derselben Linie wie der hintere Rand der Tuberosität fängt 3—4 cm weiter nach unten die Crista interossea mit einer stärkeren Rauhigkeit an, die später in eine feinere Schneide übergeht. Von hier an hat der Radiusschaft eine mehr dreiseitig-prismatische Gestalt, jedoch mit abgerundeten lateralen Rändern.

[1]) Am untern Rande der Circumferentia habe ich amhäufigsten arthritische Wucherungen angetroffen.

Kap. II. Zur Anthropologie des Armskelettes.

Die Osteologie der Cubitalregion hat in einigen Beziehungen das specielle Intresse der Anthropologen auf sich gezogen. Einerseits kommen hier als Anomalien gewisse Bildungen vor, die bei vielen Thiergruppen konstant repräsentirt sind und die man bei den tiefer stehenden Menschenrassen öfter als bei den civilisirten Völkern gefunden hat; solche Bildungen sind die Durchbrechung der Scheidewand zwischen der Fossa olecrani und der F. coronoidea (Perforatio olecrani) und der oben erwähnte Processus supracondyloideus humeri. Andererseits fand man, dass der Winkel zwischen der Längsachse des Humerus und der Flexionsachse des Ellenbogengelenks, der sogenannte Cubitalwinkel (Humeruswinkel), und noch mehr der Winkel zwischen der letzteren Achse und der Achse des Oberarmkopfes, der Torsionswinkel, bei den Menschen und den Thieren eine wesentlich verschiedene mittlere Grösse haben und dass dieselben, wenigstens was den letzteren Winkel anbetrifft, bei den niederen Menschenstämmen den entsprechenden Winkeln bei den Thieren etwas näher stehen, als es bei den Europäern der Fall ist.

Da die mir zugänglichen Knochensammlungen in Stockholm und Upsala nur einzelne Specimina von aussereuropäischen Rassenskeletten besitzen, und da allgemeine Schlüsse sich nur aus dem Studium eines grösseren Materiales ziehen lassen, musste ich mich auf die Untersuchung einer Anzahl skandinavischer Skelette beschränken. Diese stammten theils von modernen Schweden, theils von skandinavischen Lappen her; ausserdem verfügte ich über eine Sammlung von Knochen und grösseren Knochenfragmenten aus altschwedischen Gräbern aus dem Steinalter. — Von den Lappenskeletten haben drei schwedischen Lappen aus unserer Zeit angehört; die übrigen stammen von einem alten lappischen Begräbnissplatze am Warangerfjord im nördlichsten Norwegen her; ihr Alter ist auf 3—400 Jahre geschätzt worden. Eine Trennung der schwedischen von den anderen Lappen sah ich nicht als nöthig an, da auch die Skelette der letzteren zwei etwas verschiedenen lappischen Typen angehören und die Einzelwerthe der einen Gruppe

von denen der andern nicht mehr als von einander abweichen. Eine völlig sichere Geschlechtsbestimmung war bei einigen der Lappenknochen und der Steinalterknochen nicht möglich, weswegen ich hier nur Zahlen für die beiden Geschlechter zusammen anführe.

Perforatio olecrani und Processus supracondyloideus. Die Durchbrechung der Fossa olecrani beim Menschen wird von Wiedersheim (14) u. a. entschieden als ein atavistisches Merkmal betrachtet. Ich will nicht bestreiten, dass diese Ansicht richtig sein kann; der Beweis dafür scheint mir aber ganz zu fehlen, und er dürfte auch etwas schwer zu erbringen sein. —

Eine Perforatio olecrani ist allem Anschein nach auf einen grösseren Umfang der Beuge- und Streckbewegungen des Ellenbogengelenks und eine damit in Verbindung stehende stärkere Entwicklung des Olecranon und des Processus coron. zu beziehen[1]). Auch bei denjenigen Thieren, wo die Perforation konstant zu finden ist, zeigt sich der Humerus im Embryonalleben undurchbrochen, und es dürfte daher, wie ich später zeigen werde, kaum eine zu kühne Behauptung sein, dass die Perforation beim Menschen nie angeboren ist. Man kann sich natürlich damit begnügen, eine seit lange vererbte Disposition für diese Bildung, die dann in der postembryonalen Entwicklung verwirklicht würde, anzunehmen; man hat aber auch das Recht, ja sogar die Schuldigkeit zu fragen, ob dieselbe nicht vielleicht ein individueller Erwerb durch die Gewohnheitsbewegungen oder die habituelle Haltung der Extremität, wo ihr nämlich die Gestalt und Struktur der Knochen nicht zu starke Hindernisse in den Weg stellen, sein könnte. Erst wenn man in den Beschäftigungen und Sitten der diese Perforation öfter besitzenden, wilden Völker vergebens nach Momenten gesucht hat, welche eine solche Bildung begünstigen können, scheint mir die erstgenannte Ansicht an Wahrscheinlichkeit zu gewinnen. — Ich komme noch mehrmals hierauf zurück.

Viel mehr berechtigt scheint mir die Deutung des Processus supracondyloideus als ein Rückschlag auf frühere phylogenetische Entwicklungsstadien zu sein. Eine diesem Processus vollständig entsprechende Knochenspange, die ein Foramen entepicondyloideum überbrückt, ist

[1]) Bei den meisten Thieren nimmt die vordere Grube den Radiuskopf statt dem Processus coronoideus auf.

im Thierreiche viel mehr als die Perfor. olecrani verbreitet. Vor allem aber ist es auch viel schwieriger, das Vorkommen eines Proc. supracond. mechanisch oder sonst funktionell zu erklären. Er ist übrigens auch bei Kindern gefunden worden, und für seine Erblichkeit sind Zeugnisse vorhanden. —

Auf eine detaillirte Beschreibung dieser Anomalie gehe ich hier nicht ein; ich will nur daran erinnern, dass von der Spitze des Processus ein Bändchen zum medialen Epicondylus zu verlaufen pflegt, von dem in der Regel ein anomaler Kopf des Pronator teres entspringt und unter welchen immer der Nervus medianus und gewöhnlich auch die Art. brachialis oder die aus einer hohen Theilung derselben hervorgegangene A. ulnaris ziehen. — Näheres ist bei Testut (13) zu suchen, wo auch ein Litteraturverzeichniss gegeben wird. —

Tab. 1. **Frequenz der Perforatio olecrani und des Processus supracondyloideus.**

	Anzahl Untersuchte Arme	Perforat. olecrani		Proc. supracond.	
		Anzahl	Procent	Anzahl	Procent
Moderne Schwedenskelette:					
Männliche: Rechte Arme	75	[1] 3 + 1	5,3 | 4,7	0	0 | 2
Linke A.	75	[1] 3	4 |	3	4 |
Weibliche: Rechte A.	27	[1] 1	3,7 | 14,8	1	3,7 | 1,9
Linke A.	27	[1] 1 + 6	25,9 |	0	0 |
Steinalterskelette:					
Rechte A.	27	4	14,8 | 15,4	[2] 0	0
Linke A.	25	4	16 |	0	0
Lappenskelette:					
Rechte A.	29	0	0	0	0
Linke A.	30	0 (1?)	0	0	0

In obenstehender Tabelle habe ich die Resultate meiner Untersuchungen über die obengenannten Anomalien zusammengestellt. Die Zahlen, besonders die der beiden letzten Kategorien, sind natürlich viel zu klein, um die Richtigkeit der Procentzahlen zu verbürgen. Soviel

[1]) An beiden Armen des Skelettes.

[2]) Nur 36 Humeri waren so gut erhalten, dass sie auf das Vorhandensein eines Proc. supracond. untersucht werden könnten.

scheint mir jedoch aus den Zahlen hervorzugehen, dass eine Perforatio olecrani in Schweden weit seltner beim Manne als beim Weibe vorkommt und dass sie beim letzteren häufiger am linken Arme anzutreffen ist. Weiter finden wir sie relativ häufig an Steinalterskeletten[1]), wogegen sie bei den Lappen seltener zu sein scheint. Das Vorkommen eines Processus supracondyloideus dürfte bei den Schweden in seiner Häufigkeit nicht viel von demjenigen bei anderen europäischen Völkern, abweichen. Gruber (4) berechnet die Frequenz desselben zu 2,7 %, Struthers[2]) zu 2 %, Testut (13) zu etwa 1 %; meine Untersuchungen ergaben etwa 2 %.

Der Cubitalwinkel. Beim Menschen bildet der Unterarm mit dem Oberarm in der Regel einen nach aussen offenen Winkel. Beim Lebenden, wo dieser Winkel jedoch nur approximativ bestimmt werden kann, fand Potter (10), dass er beim Manne im Mittel 173°, beim Weibe 167° beträgt. Etwa die Hälfte dieser Abweichung kommt auf die schräge Lage der Flexionsachse zur Längsachse des Humerus, die durch den Cubitalwinkel gemessen wird, die andere Hälfte auf die ebenso schräge Lage jener Achse zur Ulna Solchergestalt kann der Unterarm, trotz der Winkelstellung bei der Extension, wie Braune und Kyrklund (34) gezeigt haben, bei starker Flexion den Oberarm decken, ganz wie wir bei Genu valgum den Winkel in der Beugung verschwinden sehen. — An der skelettirten Ulna kann man die Lage der Flexionsachse nur sehr ungenau bestimmen; die Messung des betreffenden Winkels hätte also nie annähernd korrekt ausfallen können, weshalb ich sie auch unterlassen habe. Am Humerus kann man diese Achse dagegen mit einem Zirkel oder auch nach Augenmass hinreichend exakt bestimmen und den Winkel, den der Humerusschaft gegen dieselbe bildet, den Cubital- oder Humeruswinkel, messen.

Bei der Mehrzahl der Säugethiere, deren vordere Extremitäten einen grossen Theil der Körperlast zu tragen haben, steht der Humerus, von vorne gesehen, in der Regel ziemlich vertikal und die Achse des Ellenbogengelenks horizontal. Der Cubitalwinkel beträgt also hier etwa 90°, was man auch a priori erwarten kann, da dadurch einer seitlichen

[1]) Auch Dupont u. a. fanden eine relativ grosse Frequenz der Perfor. olecr. an neolithischen Skeletten.

[2]) Cit. nach Testut.

Einknickung am besten vorgebeugt wird[1]). Beim Menschen ist der laterale Winkel gewöhnlich spitz und beträgt c. 85°. Dass dieses mit der verschiedenen Anwendungsweise der Extremität in Zusammenhang steht, scheint mir sehr wahrscheinlich zu sein, doch konnte ich über die nähere funktionelle Bedeutung dieses Umstandes nichts ermitteln.

Tab. 2. **Grösse des Cubitalwinkels.**

	Anzahl Untersuchte Arme	Min.	Max.	Mittel		
Moderne Schwedenskelette:						
Männliche: Rechte Arme	31	81°	90°	84,9°	85,3°	85,7°
Linke A.	31	80°	90°	85,7°		
Weibliche: Rechte A.	21	83°	90°	85,5°	86°	
Linke A.	21	84°	90°	86,5°		
Steinalterskelette:						
Rechte A.	17	81°	94°	86,8°	86,8°	
Linke A.	18	80°	93°	86,8°		
Lappenskelette:						
Rechte A.	29	81°	96°	86,6°	87,3°	
Linke A.	30	84°	96°	88°		
Summa	198	80°	96°			86,3°

In Tab. 2 sind die Ergebnisse meiner Messungen an beinahe 200 Humeri zuzammengestellt. Der mittlere Cubitalwinkel sämmtlicher Kategorien beträgt 86,3°, was besser mit SCHMID's (12), Angaben (85,7; Mittel aus 24) als mit BRAUNE und KYRKLUND's (83,58°; Mittel aus 11) übereinstimmt; seine Grösse schwankt zwischen 80° und 96°. — Im Allgemeinen scheint der Winkel am rechten Arm kleiner als am linken, und beim Manne kleiner als beim Weibe zu sein[2]) Die Skelette aus

[1]) Genauer berechnet SCHMID (12) den mittleren Cubitalwinkel bei den Säugethieren zu 92°; der Ober- und der Unterarm bilden also mit einander einen medialwärts offenen Winkel. Es ist leicht einzusehen, dass die von der Brust nach der vorderen Extremität ziehenden Muskeln ein Einknicken des Gelenks nach dieser Seite verhindern können. — Nur die Affen und die Nager (?) sollen nach SCHMID einen Cubitalwinkel haben, der, wie beim Menschen, kleiner als 90° ist.

[2]) Sollte dieses letztere sich bestätigen, so würde also die stärkere seitliche Abweichung des gestreckten Unterarms beim Weibe, die POTTER (10) gefunden hat, allein von einem bedeutend kleineren Winkel zwischen der Cubitalachse und der Längsachse der Ulna abhängig sein.

dem Steinalter und die Lappenskelette zeigen einen etwas grösseren Winkel als die modernen Schwedenskelette.

Der Torsionswinkel. Die Lehre Martins' (8) von einer virtuellen Spiraldrehung des Humerus, welche die Homologie der Vorder- und Hintergliedmassen erklären soll, und die Untersuchungen Gegenbaur's (3), die eine reelle Humerustorsion von etwa 35° während der embryonalen und postembryonalen Entwickelung ergaben, haben die Aufmerksamkeit verschiedener Forscher auf den Winkel zwischen der Flexionsachse des Ellenbogengelenks und der Achse des Humeruskopfes (oder richtiger zwischen ihren Projektionen auf einer gegen die Humerusachse rechtwinkelig liegenden Ebene) gelenkt. Dieser nach hinten und lateralwärts offene Torsionswinkel [1]) soll nach Martins bei den Säugethieren ungefähr ein rechter sein und beim Menschen beinahe die doppelte Grösse haben. Gegenbaur fand, dass er in der späteren Hälfte des Embryonallebens c. 137°, beim Erwachsenen 168° beträgt. Broca's (2) zahlreiche Messungen ergaben eine allmähliche Steigerung seiner Grösse von den niederen Menschenrassen (130—140°) bis zu den Europäern (160—165°); ausserdem dass der Winkel kleiner beim Manne als beim Weibe und kleiner am rechten als am linken Arme ist. Im Grossen gesehen kamen die übrigen Verfasser (s. das Litteraturverzeichniss) zu denselben Resultaten.

An dem mir zugänglichen Material habe ich eine Anzahl Messungen des Torsionswinkels ausgeführt. Die Achse des Humeruskopfes wurde nach Augenmass bestimmt und an der Gelenkfläche durch eine Linie bezeichnet [2]); die Cubitalachse wurde durch eingesteckte Nadeln angegeben; an dem in horizontaler Richtung festgeschraubten Humerus wurden dann mit Hülfe einer Libelle die Winkel beider Achsen gegen die Horizontallinie gemessen. — Die Methode ist, was sie mit allen übrigen theilt, nicht besonders exakt; eine mathematisch genaue Bestimmung wäre aber sehr mühsam und bei den oft starken Unregelmässigkeiten der Gelenkflächen nur von trügerischem Werth. Die mit ihr gewonnenen Resultate verschiedener Forscher sind zwar nicht ganz mit einander vergleichbar; die Zahlen ein und desselben Untersuchers dürften aber unter sich hinreichend genau kommensurabel sein.

---

[1]) Die Mehrzahl der deutschen Verfasser geben den kleineren, medialwärts offenen Supplementwinkel an. Einen Vortheil dieses Verfahrens kann ich nicht einsehen.

[2]) Diese Linie, die natürlich durch das Centrum der Gelenkfläche verlief, traf in ihrer Verlängerung die Grenze der Facetten für die Mm. supraspin. und infraspin am Tubere. majus oder schnitt die erste Facette nahe der Grenze.

Tab. 3. **Grösse des Torsionswinkels.**

	Anzahl Untersuchte Arme	Min.	Max.	Mittel.	
Moderne Schwedenskelette.					
Männliche: Rechte Arme	32	143°	180°	159,4°	160,8°
Linke A.	32	140°	183°	162,2°	
Weibliche: Rechte A.	21	147°	186°	165,3°	166,5°
Linke A.	21	147°	180°	169,7°	
Steinalterskelette.					
Rechte A.	17	121°	174°	147,6°	151,5°
Linke A.	18	134°	171°	155,1°	
Lappenskelette.					
Rechte A.	24	138°	166°	155°	153,3°
Linke A.	21	134°	165°	151,2°	

Wie aus Tab. 3 hervorgeht, konnte ich im Allgemeinen die Angaben früherer Forscher bestätigen. An den modernen Schwedenskeletten überschritt der mittlere Torsionswinkel des Weibes den des Mannes mit nicht weniger als 5,7°. Am linken Arme war er durchschnittlich grösser als am rechten, und dies sowohl bei den heutigen als bei den prähistorischen Bewohnern Schwedens; eine Ausnahme von dieser Regel bilden die Lappen (s. u.).

Dreimal fand ich einen Winkel, der mehr als zwei rechte betrug (einmal an einem männlichen linken Arm, zweimal an weiblichen rechten Armen); an diesen Armen stand also das innere Ende der Cubitalachse hinter der Achse des Humeruskopfes.

Beim Foetus fand auch ich, wie ich später zeigen werde, einen beträchtlich kleineren Torsionswinkel als beim Erwachsenen.

Was man nun auch von der eigentlichen, noch immer unter Debatte stehenden Torsionshypothese und ihren Konsequenzen denken mag, so sind doch die Wechselungen in der Grösse des Torsionswinkels bei den verschiedenen Rassen, in den verschiedenen Entwickelungsstadien u. s. w. festgestellt. — Für die Erklärung des kleineren Winkels am männlichen Humerus gegenüber dem weiblichen, am rechten gegenüber dem linken hat man vor allem die grössere Stärke und eine daraus hergeleitete grössere Resistenz des männlichen und des rechten Humerus gegen die drehenden Kräfte in Betracht gezogen. Diese Erklärung hat gewiss viel Ansprechendes; Einwendungen können aber gegen sie erhoben werden, und namentlich vermag sie die Veränderungen in

der Grösse des Winkels während und nach dem Embryonalleben nicht zu erklären. Ich erlaube mir deswegen, hier auf ein anderes, wahrscheinlich wirksames Moment aufmerksam zu machen.

Die mittlere Haltung des Humerus, was seine Rotationsbewegungen anbetrifft, sowie der Spielraum der letzteren müssen einerseits von der Lage des Schulterblattes und seiner Gelenkhöhle im Verhältniss zur Körperachse, andererseits von der Lage des Humeruskopfes auf seinem Schafte abhängig sein. Je mehr die Cavitas glenoid. scap. lateralwärts sieht, einen um so grösseren nach vorne offenen Winkel muss unter übrigens gleichen Umständen die Achse des Ellenbogengelenks mit der Medianebene bilden; je weiter nach der medialen Seite des Schaftes der Humeruskopf angesetzt ist, um so kleiner wird dieser Winkel, um so mehr medialwärts ist die Beugungsebene des Unterarms gerichtet. Nach v. Meyer (85) beträgt beim Erwachsenen dieser mittlere Winkel der Ellenbogenachse gegen die Mittelebene des Körpers etwas weniger als 80°, — d. h. die Beugeseite des Arms ist nach vorne und etwas medialwärts gerichtet. Die Ruhelage des foetalen Armes scheint nicht viel von der des Erwachsenen abzuweichen; der Winkel dürfte dort wenigstens nicht grösser sein als hier.

Betrachten wir aber Querschnitte durch den Brustkorb eines Erwachsenen und eines Foetus, so fällt uns sogleich der grosse Unterschied, der sich bei ihnen in der Lage des Schulterblattes findet, in die Augen; auf dem fassförmigen, tiefen Thorax des Foetus liegt die Scapula viel sagittaler, als auf dem von vorn nach hinten zugeplatteten Thorax des Erwachsenen. Messungen an Gefrierschnitten gaben mir zwischen der Ebene des Schulterblattes und der Medianebene des Körpers beim Foetus einen Winkel von etwa 30°, beim Erwachsenen von etwa 50°; das Schulterblatt dreht sich also im spätembryonalen und postembryonalen Leben mit der Gelenkhöhle um c. 20° lateralwärts.

Unter solchen Umständen muss sich die Cubitalachse während der Entwickelung der Ebene des Schulterblatts und der Achse des Humeruskopfes mehr paralell stellen und damit der Torsionswinkel sich vergrössern. Die für diese Umbildung erforderliche mechanische Kraft haben wir wahrscheinlich in den Schultermuskeln zu suchen. Sowohl durch ihre aktiven Bewegungen, wie durch ihre Spannung in der Ruhelage üben sie auf das Skelett einen beständigen mechanischen Einfluss aus; die normale sowohl wie die pathologische Anatomie kann viele Beispiele von einer solchen Faktoren zuzuschreibenden Umformung der Knochen liefern. — Ob im vorliegenden Falle eine wirkliche Torquirung des Knochens zwischen den Insertionsstellen der antagonistischen Muskeln vorsichgeht oder ob der Gelenkkopf sich mehr nach der medialen vordern Seite hin, als in entgegengesetzter Richtung verbreitert,

und so zu sagen um den Knochen herum wandert, um dieses zu entscheiden, bedarf es noch eingehender Specialuntersuchungen. [1])

Ist die oben gegebene Erklärung richtig, so liegt es nahe an der Hand anzunehmen, dass auch der Unterschied zwischen den Winkeln des rechten und des linken Armes und auch bei den beiden Geschlechtern theilweise von der Wirkung ähnlicher Faktoren herrührt. — Es ist klar, dass ceteris paribus ein kleinerer Torsionswinkel, durch welchen die Flexionsebene des Ellenbogengelenks mehr sagittal oder sogar etwas nach der Seite gerichtet wird, den Bewegungen des Armes einen beträchtlicheren Spielraum in lateraler Richtung giebt, während ein grösserer Winkel gut mit einer überwiegenden Haltung und Anwendung der Hand vor der Brust vereinbar ist. Eine häufigere und stärkere Inanspruchnahme der Muskeln in verschiedenen Richtungen muss auch eine verschiedene Einwirkung auf die Knochen haben, wofür wir auch in der Gestaltung der letzteren einen Ausdruck finden könnten. Der rechte Arm wird ja schon von früher Jugend an für stärkere und umfänglichere Bewegungen gebraucht, als der linke, und der Knabe hat in seinem regsameren Leben viel grössere Exkursionen seiner Gelenke nöthig, als das Mädchen.

In welcher Weise und in welchem Grade die äusseren Existenzbedingungen, die Beschäftigung u. s. w. auf den Körperbau des einzelnen Individuums einen Einfluss üben können, ist eine Frage, die sich nur zu oft einer sicheren Beantwortung entzieht; es scheint mir aber nicht überflüssig, auf die Möglichkeit, vielleicht sogar Wahrscheinlichkeit einer solchen Einwirkung wie z. B. die oben dargelegte hinzuweisen; bei der Beurtheilung individueller Variationen muss man dieselbe immer vor Augen haben.

Aus Tab. 3 geht weiter hervor, dass der Torsionswinkel sowohl an den Knochen aus dem Steinalter [2]), wie an den Lappenskeletten beträcht-

[1]) Bei der kyphotischen Deformität des Brustkorbes, wo derselbe seitlich zusammengedrückt erscheint, müssen die Schulterblätter eine mehr sagittale Richtung als an dem normalen Thorax einnehmen. Ich stellte mir desswegen auch die Frage, ob bei dieser Missbildung der Torsionswinkel kleiner als normal sei und habe 12 Skelette mit verschiedenartigen Kyphosen aus den Sammlungen in Upsala und Stockholm untersucht. Der mittlere Torsionswinkel dieser Skelette war rechts 152,4° (Minimum 132°, Maximum 165°), links 155,3° (Min. 140°, Max. 170°); den Winkel des Schulterblattes zur Sagittalebene glaubte ich im Mittel auf 38° schätzen zu können. Die Abweichung ging also in der erwarteten Richtung; der mittlere Torsionswinkel war hier an beiden Armen etwas kleiner, als bei den normalen Skeletten. Der Unterschied ist ja nicht gross; dies kann aber durch den Umstand erklärt werden, dass die Missbildung in vielen Fällen wahrscheinlich aus einem Alter stammte, wo die Umgestaltung des Oberarmknochens sich theilweise schon vollgezogen hatte.

[2]) Der mittlere Winkel dieser Knochen stimmt auffallend gut mit den Angaben Broca's (2) über den Torsionswinkel einiger Knochen aus der französischen Époque

lich kleiner als bei den modernen Schweden war. Nach der allgemeinen Ansicht der Anthropologen würde dieses ein Merkmal für eine niedere Rasse sein. — Mir scheint auch diese Lehre weitere Beweise bedürfen; die Möglichkeit ist nämlich vorläufig nicht auszuschliessen, dass die Lebensweise, die Beschäftigungen (z. B. Wurfübungen u. dgl.) auch hier auf die individuelle Umformung des Oberarmknochens eingewirkt haben.

Eigenthümlicherweise fand ich bei den Lappen durchschnittlich einen kleineren Torsionswinkel am linken Arme als am rechten; der Unterschied betrug 3,8°; (von den schwedischen Lappen hatten zwei kleineren Winkel am linken, einer am rechten Arme). Unter der Menge von Zahlen, die Broca (2) anführt, finde ich nur zwei Gruppen, die eine ähnliche Differenz (d. h. grösseren Winkel am rechten Arme) zeigen, nämlich die »Noirs de l'Indoustan» und die alten Aegypter [1]). — Das vereinzelte Auftreten derselben Eigenthümlichkeit bei so grundverschiedenen Menschenrassen wie diese und die Lappen es sind, berechtigt uns schon zu der Frage, ob diese Eigenthümlichkeit nicht auch ein Produkt gewisser Sitten, Gewohnheitsbewegungen u. dgl. sein könne [2]). — Jedenfalls fordern diese Beobachtungen dringend zu weiteren Untersuchungen an einen möglichst grossen Materiale auf.

---

de la pierre polie überein. Er fand an 15 rechten Humeri einen Winkel von 147,66°, an 25 linken von 155,12°. Der Unterschied zwischen seinen Zahlen und den meinigen geht über die Decimalen nicht hinaus.

Eine andere Eigenthümlichkeit der altschwedischen Humeri sei noch kurz erwähnt. Mehr als die Hälfte derselben (26 von 49) zeigen eine Beugung des Schaftes mit der Konvexität lateralwärts; nur 1 Humerus ist in der entgegengesetzten Richtung gebogen; die übrigen sind ziemlich gerade. Von 58 schwedischen Humeri aus unserer Zeit waren nur 2 nach aussen konvex, dagegen nicht weniger als 19 nach dieser Seite konkav. Von 55 Humeri von Lappen waren 3 nach aussen konvex, 6 nach aussen konkav. Die genannte Beugung findet sich bei weitem nicht immer mit einer stärkeren Entwickelung der Insertionsgräten des Deltoideus und der anderen Armmuskeln zusammen.

[1]) Die Differenz bei den ersteren beträgt nur 1°, bei den letzteren 3,8°. — An einem einzelnen Lappenskelette fand Broca rechts einen Torsionswinkel von 162° und links von 154°, an einem Eskimoskelette rechts von 142° und links von 129°; also war auch bei diesen der Winkel an der linken Seit kleiner, als an der rechten.

[2]) Auf Anfragen bei Personen, die mit der Lebensweise der Lappen näher vertraut waren, erhielt ich von zweien die Antwort, dass die Lappen wenigstens bei gewissen Beschäftigungen mit Vorliebe den linken Arm anwenden. Eine dritte Person hatte dieses nicht bemerkt.

Kap. III. Die funktionelle Gestalt und Struktur der Knochen des Ellenbogengelenks.

Dass nicht nur die äussere Form, sondern auch die innere Struktur der Knochen in direkter Abhängigkeit von ihrer mechanischen Inanspruchnahme steht, ist jetzt allgemein anerkannt. Von anderen Faktoren ist es nur die Vererbung, der man einen beachtungswerthen Einfluss auf die Gestaltung der Knochen zuerkennen muss; dieselbe zeichnet aber nur in groben Zügen den Bauplan; die feineren Einzelheiten zu bestimmen, die zweckmässige Anpassung der Struktur an die individuellen Bedürfnisse kommt nur der Funktion zu. Diese muss immer als das eigentliche formbildende Princip betrachtet werden.

Die Zweckmässigkeit der Spongiosaarchitektur haben zuerst v. Meyer (20) und Wolff (28) an dem Oberschenkel in evidentester Weise gezeigt. An dem Fussskelett hat sie Rasumowsky (23), an der Wirbelsäule Bardeleben (16) nachweisen können; und die funktionelle Bedeutung der äussern Schienbeinform hat H. H. Hirsch (18) teoretisch und experimentell dargethan. Zu ähnlichen Resultaten führten die Untersuchungen von Eichbaum (17), Zschokke (30) und Wolffermann (29) über die Spongiosaarchitektur bei verschiedenen Wirbelthieren, und auf dem pathologischen Gebiete konnten die Arbeiten von Roux (25), Wolff (27) und Nicoladoni (22) die Gültigkeit derselben Gesetze feststellen.

Für solche Untersuchungen waren natürlich am meisten die Skelettheile geeignet, die, wie die untere Extremität und die Wirbelsäule, eine überwiegend statische Bestimmung haben. Der Druck der Körperlast, dessen Richtung und Grösse ziemlich leicht bestimmt werden können, — ist hier die konstanteste und die grösste der einwirkenden Kräfte. Der Zug der einzelnen Muskeln und Bänder tritt gegen denselben ganz in den Hintergrund. Auch haben die Autoren an der Architektur der genannten Knochen ausschliesslich oder überwiegend die Bahnen der Übertragung des vertikalen Belastungsdruckes abgelesen.

Dasselbe gilt auch im grossen Allgemeinen von den Vordergliedmassen der Säugethiere, obgleich hier die Muskel- und Bänderwirkung wegen der Winkelstellung der Gelenke viel grösser sein und dadurch

auch einen viel deutlicheren Einfluss auf den Knochenbau ausüben muss, als am menschlichen Femur.

Das Skelett der menschlichen vorderen Extremität hat viel weniger Interesse erweckt; nur vorübergehend haben es Wolffermann (29) und Langerhans (19) besprochen, und vollständige und korrekte Abbildungen von der Spongiosa der Armknochen existiren meines Wissens nicht in der Litteratur. Die Verhältnisse sind hier auch viel komplicirter, als an der untern Extremität. Nur relativ selten (beim Stützen auf die Arme oder beim Gehen auf allen Vieren) ist ein einfacher vertikaler Druck die hauptsächlich in Wirkung kommende Kraft. Es wird vielmehr die Festigkeit der Knochen in erster Reihe von dem Zug der Muskeln beansprucht, und bei den vielseitigen Arbeitsleistungen des Armes und der Hand wechseln die Grösse und Richtung der Kraftwirkungen in steter Folge. Beim ersten Anblick erscheint auch das spongiöse Gefüge der Armknochen, gleichwie ihre äussere Gestalt, ziemlich verworren und unregelmässig. Die hübschen Curven, die wir im Schenkelhals oder im Calcaneus finden, das reguläre rechtwinkelige Maschennetz der Wirbel sehen wir nur an einzelnen Stellen typisch vertreten. — Eine eingehendere Untersuchung wird aber zeigen, dass auch die Knochen des Armes ein gut motivirtes und zweckmässiges Gefüge besitzen und dass beinahe jede Einzelheit in der Struktur durch eine entsprechende, stärkere Beanspruchung zu erklären ist.

Für ein rechtes Verständniss der funktionellen Gestalt der Knochen muss man die hauptsächlichen Arten ihrer mechanischen Anspruchnahme bei ihrer physiologischen Anwendung kennen. Von einer streng mathematischen Auseinandersetzung der Kraftwirkungen und einer Herleitung der einschlägigen mechanischen Gesetze sehe ich vollständig ab; ich kann dieses um so eher thun, als man doch nur willkürlich gewählte Einzelfälle berechnen könnte und dies schwerlich ein treffendes Gesammtbild der Leistungen geben würde. Dagegen halte ich es für nothwendig, eine möglichst kurze Darstellung einiger Grundbegriffe der graphischen Statik und der Festigkeitslehre meinen weiteren darauf gestützten Ausführungen vorauszuschicken.

---

1. Einige Sätze aus der Festigkeitslehre.

Sucht man zwei mit einander verbundene Punkte einander in der Richtung ihrer Verbindungslinie zu nähern oder sie in dieser Richtung von einander zu entfernen, so hat man den Druckwiderstand oder den Zug-

widerstand der verbindenden Kräfte zu bekämpfen; man beansprucht das System auf Druck oder auf Zug. — Werden die Punkte in einer Richtung rechtwinkelig gegen die sie verbindende Linie gegeneinander verschoben, so wird das System auf Schub (Scheerung) in Anspruch genommen. — Jede andere Veränderung in der gegenseitigen Lage der Punkte wird Beanspruchungen hervorrufen, die aus diesen drei Grundarten der Beanspruchung zusammengesetzt sind und sich in Komponenten in diesen Richtungen auflösen lassen.

Wenn man einen elastischen Körper in einer Richtung komprimirt, werden die einzelnen Moleküle nicht nur einander genähert, sondern sie weichen auch seitlich aus und der Köper wird nach den Seiten hin breiter. Hier ist also die primäre Kraft theilweise aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, und es müssen auch Zug- und Schubspannungen eingetreten sein. Immer werden wir jedoch in dieser Umlagerung der Moleküle für einen jeden beliebigen Punkt andere, ihm naheliegende Punkte finden können, die nur in der ursprünglichen Verbindungsrichtung von ihm entfernt oder ihm genähert werden; verbindet man diese Punkte mit einander, so erhält man ein System von Linien, die den maximalen Druck- oder Zugspannungen entsprechen und also die Richtung der stärksten Kraftübertragung bezeichnen. Ganz analog ist das Verhältniss, wenn der Körper einem Zug ausgesetzt ist; er wird dann aber, anstatt dicker, schmäler; die Linien haben eine ähnliche Richtung; ihre Bedeutung ist aber eine entgegengesetzte. — Die Linien der stärksten Kraftübertragung nennt man Trajektorien; wenn nur in den Richtungen derselben hinreichend Widerstand geleistet wird, können die schwächeren, in anderen Richtungen wirkenden Kräfte ausser Acht gelassen werden. Ist das druck- und zugfeste Material einer technischen Konstruktion in diese Bahnen verlegt, so ist der grösste Nutzeffekt bei dem geringsten Materialverbrauch erreicht.

Wirkt auf einen horizontal eingespannten Balken eine vertikale Kraft am freien Ende, so wird er auf Biegung beansprucht. Auch hier sind nur Druck-, Zug- und Schubspannungen vorhanden. Nach der konvexen Seite überwiegt der Zug, und zwar um so mehr, je näher man derselben kommt, nach der konkaven der Druck; die Mittelschicht, wo weder Druck, noch Zug wirkt, nennt man die neutrale Faserschicht. Hier wirkt die Schubkraft am stärksten. Zeichnet man in einen solchen Balken die Spannungstrajektorien ein, so findet man, dass ein Kurvensystem winkelrecht von der Zugseite entspringt, die neutrale Achse unter einem Winkel von 45° kreuzt und zuletzt paralell der Druckseite verläuft (Druckkurven); ein andres Kurvensystem geht rechtwinkelig von der Druckseite aus und endigt paralell der Zugseite (Zugkurven). Die beiden Systeme kreuzen sich unter rechten Winkeln.

Wirkt die Kraft in spitzem oder stumpfem Winkel auf den Balken, so wird die neutrale Achse nach der Zug- oder Druckseite des Balkens mehr oder weniger verrückt, wodurch auch die Trajektorien in derselben Richtung verschoben werden. Wechselt also die Angriffsrichtung der Kraft innerhalb einer bestimmten Ebene, so verändern auch die Trajektorien ihre Lage innerhalb dieser Ebene. Soll eine Konstruktion einer in dieser Weise variirenden Beanspruchung entsprechen, so muss das Baumaterial in Lamellen geordnet sein, die der fraglichen Ebene paralell stehen.

Wenn endlich die Kraft den Balken um seine Achse zu drehen sucht, liegen die stärksten Spannungen in der peripheren Schicht und laufen spiral-

förmig um die Achse; hieraus folgt, dass für Torsionsbeanspruchungen die Röhrenform die günstigste Anordnung des Materials sein muss.

Wo zwischen zwei auf einander gedrückten festen Körpern keine oder nur eine geringe Friktion besteht, da wirkt der Druck vollständig oder annähernd winkelrecht auf die Berührungsflächen. Sind die letzteren konkav und konvex sphärisch, so müssen also die hauptsächlichsten Druckspannungen radiär zum Centrum der Fläche liegen, mithin in den konvexen Körper hinein konvergiren, in dem konkaven dagegen divergent verlaufen. Es entstehen dadurch ausser den in der ursprünglichen Kraftrichtung liegenden Spannungen auch transversale Tangentialspannungen, welche die Elemente des konkaven Körpers seitlich auseinander zu treiben, die des konvexen dagegen von den Seiten zusammenzudrücken suchen. Die entsprechenden Trajektorien müssen zum grössten Theile nahe der Oberfläche und paralell derselben verlaufen. Sie werden in den technischen Konstruktionen von den sogenannten Streckbändern vertreten.

Je weiter von der neutralen Faserschicht eines auf Beugung beanspruchten Balkens eine Faser desselben liegt, um so viel grösseren Druck- oder Zugspannungen wird sie ausgesetzt, um so viel mehr wird ihre Widerstandsfähigkeit, ihre Druck- oder Zugfestigkeit ausgenützt.

Hieraus lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Ein Balken mit kreisförmigem Querschnitt hat in allen Richtungen der Biegung dasselbe Wiederstandsmoment.

Sind die Durchmesser des Querschnittes verschieden gross, so ist auch die Biegungsfestigkeit verschieden; sie ist grösser, wenn der längere, als wenn der kürzere Durchmesser in der Biegungsebene liegt. (Sie ist grösser bei der Biegung über die Kante, als bei der Biegung über die Fläche).

Ein hohler Balken hat ein grösseres Wiederstandsmoment, als ein solider von demselben Gewichte.

Hat das Material eines einseitig belasteten Balkens eine verschieden grosse Druck- und Zugfestigkeit, wenn z. B. die höchste zulässige Druckspannung grösser als die höchste zulässige Zugspannung ist, so würde ein zu der neutralen Schicht symmetrischer Querschnitt wenig zweckmässig sein. Unnöthig viel Material würde dann an der Druckseite im Verhältniss zur Zugseite verbraucht werden. Mit anderen Worten, das Material muss im gegebenen Falle an der Druckseite weiter als an der Zugseite von der neutralen Schicht entfernt liegen. Für eine solche richtige Anwendung des Materials ist der gusseiserne **T** Profilbalken ein Beispiel. Natürlich ist sie aber nur bei einer konstanten Richtung der biegenden Kraft an ihrem Platze.

---

2. Die mechanischen Beanspruchungen der Knochen des Ellenbogengelenks.

Um die Zweckmässigkeit des Knochenbaues der vorderen Extremität übersehen zu können, müssen wir zuerst die hauptsächlichsten der auf diese Knochen einwirkenden Kräfte kennen lernen. — Nur auf die

stärkeren der physiologischen Beanspruchungen brauchen wir hierbei Rücksicht zu nehmen; für diese müssen ja die Knochen speciell eingerichtet sein; den kleineren Anforderungen werden sie dabei natürlich immerhin genügen.

Die auf die Knochen einwirkenden äusseren Kräfte sind einerseits die Belastung, anderseits der Zug der Muskeln und der Bänder an ihren Ansatzstellen.

Jeder Druck und Zug muss bei Gleichgewicht der Theile einen entsprechenden Gegendruck oder Gegenzug zu überwinden haben. Die Kraftwirkung wird also durch den Knochen in bestimmten Bahnen bis an den Angriffspunkt des Gegendruckes oder -Zuges, das heisst bis an seine Verbindung mit einem andern Skeletttheile oder bis an die Insertionsstelle des Widerstand leistenden Muskels fortgeleitet[1]).

Eine passive Belastung, wie die Schwere des Körpers beim Stützen auf die Arme oder die Schwere des nach oben gerichteten belasteten oder unbelasteten Unterarmes, kann natürlich einen beträchtlichen Druck des Oberarms gegen den Unterarm oder vice versa hervorbringen. Der Druck und der Gegendruck gehen, da der von der Hand fortgeleitete Druck so gut wie ausschliesslich vom Radius aufgenommen wird, überwiegend durch die humeroradiale Verbindung. Je nach der Winkelstellung des Ellenbogengelenks trifft dieser Druck das Capitulum humeri mehr an seiner untern, seiner vordern oder obern Seite; bei gestrecktem Arm dürfte er die grösste Stärke erreichen können, da das Gelenk in dieser Stellung von den Muskeln am leichtesten fixirt wird. Seltener, fast nur beim Stützen auf den Ellenbogen, wird die Ulna passiv gegen den Humerus gedrückt, und zwar vorwiegend gegen die untere Seite der Trochlea. Dass der Zug des hängenden (ev. belasteten) Armes einen Druck der Olecranonspitze gegen die hintere obere Fläche der Rolle hervorrufe, wie Langerhans (19) annimmt, scheint mir wenig wahrscheinlich zu sein, da dieser Kraft schon eine relativ schwache Kontraktion der Muskeln vollen Widerstand leisten dürfte. Auch die Bänder des Gelenks haben vermuthlich unter solchen Umständen nur ausnahmsweise einen stärkeren Zug auszustehen.

Der durch die Muskelkräfte hervorgebrachte Druck der Gelenkflächen gegen einander hat je nach der Stellung des Gelenks eine wesentlich verschiedene Richtung und Stärke.

In der Strecklage des Armes drücken sämmtliche über das Gelenk laufende Muskeln durch ihren Tonus oder durch ihre aktiven Kontraktionen den Radiuskopf oder den Processus coronoideus gegen die untere Fläche

[1] Direkte äussere Gewalt kann natürlich auch die Knochen in mannigfacher Weise treffen; auf die daraus resultirenden Beanspruchungen gehe ich in diesem Zusammenhang nicht ein.

des Humerus. Die Zugrichtung des Brachialis hat aber auch, wie die des Anconæus und der untersten Fasern des Triceps, eine beachtungswerthe horizontale Komponente nach vorne, wodurch ein Theil des Druckes gegen die hintere Seite der Trochlea gerichtet wird. —

Bei rechtwinkeliger Beugung des Gelenkes ist auch der hauptsächlichste Druck des Unterarms gegen den Oberarm, in der Längsrichtung dieses Knochens gerichtet; die Mitte der Incisura semilunaris wird auf die untere Seite der Trochlea gepresst. Es kommen hier aber stärkere horizontale Komponenten zur Wirkung; die Epicondylenmuskeln drücken den Radiuskopf (nur der Anconæus den Kronenfortsatz der Ulna) horizontal gegen die vordere Fläche der Gelenkrolle des Humerus. Auch der Brachialis und der Biceps haben eine horizontal wirkende, jedoch viel schwächere Komponente[1]).

Bei spitzwinkelig gebeugtem Arm drückt der Triceps die Incisura semilun. gegen die unterere Fläche der Trochlea humeri. Die Zugkraft des Brachialis lässt sich in eine gegen den Unterarm rechtwinkelige Komponente von derselben Wirkung auf das Gelenk wie diejenige des Triceps und in eine andere, in der Längsrichtung der Ulna distalwärts gerichtete Komponente theilen, die das Olecranon gegen die hintere untere Seite der Trochlea drückt. Dieselbe Richtung haben die zwei Komponenten des Biceps, von denen die eine den Radiuskopf über die vordere obere Fläche des Capitulum hum. zu verschieben sucht, die andere ihn vom Capitulum in der Richtung des Unterarms abheben würde, wenn nicht der Brachioradialis, der Pronator teres und die übrigen mitwirkenden Epicondylenmuskeln eine beträchtlich stärkere, in der Längsrichtung des Unterarms proximalwärts wirkende Kraft dagegen stellen könnten, durch welche der Radiuskopf gegen den Humerus gedrückt wird. —

Ich habe oben nur drei typische Winkelstellungen des Unterarms zum Oberarm analysirt; in den Zwischenlagen lösen die Kraftwirkungen und mit diesen auch die verschiedenen Beanspruchungen einander allmählich ab; ebenso bei einer Bewegung, bei der sämmtliche diese Zwischenlagen durchlaufen werden.

Auch die Gelenkflächen der obern radioulnaren Verbindung üben einen Druck auf einander aus. Der Supinator und der Pronator teres (weniger der Pronator quadratus wegen seiner grösseren Entfernung von dem betreffenden Gelenke) haben durch ihre querlaufende Richtung eine starke transversale Komponente, die den Radius gegen die

[1]) Was den letzteren Muskel betrifft, so strebt er natürlich in erster Reihe den Radiuskopf, an dem Capit. hum. vorbei, nach oben zu ziehen. Wie ich später zeigen werde, kann aber diese Kraft durch die muskulösen und ligamentösen Verbindungen des Radius mit der Ulna theilweise in horizontaler Richtung abgelenkt werden.

Ulna heranzieht. Nicht nur bei aktiver Pronation und Supination wird dieser Druck verstärkt, sondern auch bei der Anwendung des Biceps als Beuger, wobei, wie ich später zeigen werde, der Pronator teres in Wirkung treten muss.

Es wäre hier noch an den Druck zu erinnern, den das Ligamentum annulare auf die Übergangsstelle des Radiuskopfes in den Hals ausübt. Eine stärkere Spannung dieses Bandes und ein daraus folgender Druck auf die Unterlage desselben ist nur bei extremen Bewegungen im Gelenke, vielleicht auch bei stärkerer Kontraktion des Biceps am gebeugten Arm, zu erwarten. — Der Druck des elastischen Ligamentes muss natürlich auf die unterliegende Knochenfläche annähernd winkelrecht wirken.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die von den Muskeln herrührenden Druckkräfte am Humerus namentlich die vordere und die untere Seite des Capitulum sowie die untere Seite der Trochlea, weit weniger die hintere und die vordere Fläche der Trochlea treffen. Trifft die Kraft den Knochen annähernd in seiner Längsrichtung, so wird derselbe nur auf seine Strebefestigkeit beansprucht. Nun ist aber der Humerusschaft an seinem untern Ende etwas nach vorne gebogen, und der Druck des Radiuskopfes trifft den Humerus daher etwas lateralwärts von seiner Längsachse, bei starker Pronation auch in einem medialwärts offenen Winkel; — es tritt dadurch auch eine Beanspruchung auf Biegungsfestigkeit ein; der Humerus muss einer Biegung sowohl über die vordere Fläche, wie über die äussere Kante Widerstand leisten.

Wenn der Radiuskopf auf die vordere Seite des Gelenks drückt, wird hauptsächlich die Biegungsfestigkeit des Humerus in der Richtung nach hinten in Anspruch genommen. Der Gegendruck geht nämlich hauptsächlich von der Insertion des Brachioradialis, in gewissen Fällen aber auch von den Insertionen des Biceps und der Schultergelenkmuskeln aus[1]). Auch ein Gegendruck von Seiten der Epicondylenmuskeln lässt sich denken, doch dürften die dadurch hervorgerufenen Spannungen eher als Schubspannungen aufzufassen sein.

Der Gegendruck des Humerus auf den Radiuskopf wirkt ziemlich in dessen Längsrichtung, nimmt also nur die Strebefestigkeit in Anspruch. Der Druck auf die Incisura semilun. der Ulna trifft mehr die

[1]) Ein Beispiel dürfte dieses hinreichend beleuchten. Beim horizontal gehaltenen Oberarm mit senkrecht nach oben gerichtetem Unterarm trifft der Druck des letzteren die vordere Fläche der Humerusrolle; der Hebel (der Oberarm) wird durch den Zug des Deltoideus und des Supraspinatus in seiner Lage gehalten. Der distal von den Insertionen dieser Muskeln belegene Theil des Humerus ist also mit einem horizontalen Tragbalken zu vergleichen, der durch seine Belastung auf Biegung beansprucht wird.

mittlere, als die untere Partie derselben; am wenigsten trifft er die obere. Beim Stützen auf den Ellenbogen wird nur die direkte rückwirkende Festigkeit beansprucht. Ausserdem wird auch die Biegungsfestigkeit der ganzen Ulna in der Sagittalebene am stärksten in Anspruch genommen, und zwar auf Biegung nach oben, wenn der Triceps Widerstand an der Hand zu überwinden hat, auf Biegung nach unten, wenn der Brachialis in Wirksamkeit tritt.

Der Druck auf dem Processus coronoideus bedingt überwiegend Schubspannungen an seiner Wurzel. — Die Druckwirkung der Circumferentia cap. radii und der Incisura radialis auf einander ist rechtwinkelig auf ihre Flächen gerichtet. Der Radius muss aber auch einer Biegung in der Frontalebene zwischen dem Kopfe und den Insertionen des ulnaren Kopfes des Supinator und des Pronator teres Widerstand leisten.

Des direkten Zuges der an den Armknochen befestigten Muskeln an ihren Insertionsstellen ist schon mehrmals Erwähnung gethan worden. Die Kraft wirkt natürlich immer in der Ansatzrichtung des Muskels; bei den Bewegungen des Gelenkes ist aber diese einem steten Wechsel unterworfen, doch bleibt sie immer in einer der Bewegungsebene paralellen Ebene. So wirkt z. B. der Zug der Epicondylenmuskeln in der Strecklage beinahe in der Längsrichtung des Humerus, um bei rechtwinkeliger Beugung nach vorne, bei extremer spitzwinkelig nach oben gerichtet zu sein. Der Triceps zieht in der Strecklage rechtwinkelig an der obern Olecranonfläche, um bei der Flexion tangential an diese anzugreifen und bei extremer Flexion noch auf die Spitze des Olecranon einen ziemlich starken Druck auszuüben. Die Angriffsrichtung des Biceps und des Brachialis wechselt von einem sehr stumpfen bis zu einem spitzen Winkel gegen den Unterarm. — Für den Biceps kommt noch die tangentiale Insertion in Betracht, durch welche sowohl Zug-, wie Druckspannungen entstehen. Einen tangentialen Ansatz auf den Radius haben auch der Supinator und der Pronator teres; an ihrem Ursprunge an der Ulna gehen sie dagegen vom Knochen in ziemlich grossen Winkeln aus.

Zwischen den Ansatzstellen der antagonistischen Rotatoren muss natürlich der Radius auch auf Torsion beansprucht werden; dies gilt besonders für die Strecke zwischen der Insertion des Biceps und derjenigen des Pronator ter., da diese Muskeln zumeist zu gleicher Zeit als Flexoren in Wirksamkeit treten.

Noch ist hier an den Zug der Membrana interossea an ihren Insertionen besonders bei Streckbewegungen des Ellenbogengelenks zu erinnern. Diese werden ja vom Triceps ausgeführt, der sich nur an die Ulna anheftet, während die Hand dagegen hauptsächlich mit

dem Radius verbunden ist. Soll dann durch eine Kontraktion des Triceps die Hand einen Widerstand überwinden (z. B. dann, wenn man einen Hieb thut), so wird natürlich die Verbindung der beiden Unterarmknochen und in erster Reihe die Membrana interossea stark in Anspruch genommen. —

---

3. Architektur der Knochen des Ellenbogengelenks.

In welcher Weise und durch welche Mittel können nun die Knochen alle oben besprochenen Anforderungen erfüllen? Wie hat sich die Form der Funktion angepasst? —

Diese Fragen können nur durch ein genaues Studium der durchsägten Knochen beantwortet werden. — Sogar die äussere Gestalt der Knochen wird uns nur an Durchschnitten völlig klar, und die feinere Struktur derselben ist in keiner anderen Weise zu untersuchen. Das Zurechtfinden in dem Labyrinthe der Spongiosa erfordert absolut eine Menge von Plankarten, eine grosse Anzahl dünnerer und dickerer Sägeschnitte in verschiedenen Richtungen. Zu den schon an sich sehr komplicirten Strukturverhältnissen kommt nämlich noch, dass den individuellen Variationen in der absoluten und relativen Grösse und Anordnung der verschiedenen Bälkchensysteme ein ziemlich weiter Spielraum gelassen ist. — Diese Variationen können ganz gut ein Ausdruck für individuell verschiedene Beanspruchungen durch Beschäftigung u. dgl. sein. Auf Untersuchungen hierüber erlaubte mir mein Material nicht einzugehen.[1])

Fünfzehn Oberarmknochen, ebensoviele Ellen und zwölf Speichen beider Geschlechter und von verschiedenem Alter habe ich in dieser Richtung untersucht. Die Knochen wurden sowohl in den drei Hauptebenen, wie in schrägen Richtungen zerlegt; auch über die Fläche gebogene, der Knochenachse paralelle Schnitte habe ich gemacht. — Die dünneren Schnitte (0,5—1 mm.) sind für das Studium der dichteren Spongiosa am besten geeignet; dickere Schnitte geben eine viel klarere Übersicht der verschiedenen Systeme einer mehr lockeren Spongiosa.

Die Zinkotypien auf der Taf. I stammen von Photographien einiger

---

[1]) Schon hier sei daran erinnert, dass die Spongiosa der Epiphysen, wie v. Meyer (21) gezeigt hat, vom Anfang an nach dem rundmaschigen Typus der kurzen Knochen aufgebaut ist. Wenn sie sich auch, wie es mir scheint, später, nach dem Verschwinden der Synchondrosenscheibe, ziemlich gut den speciellen mechanischen Beanspruchungen anpasst, so kann man doch nie erwarten, dass die Zug- und Drucksysteme sich hier eben so deutlich enthüllen werden, wie in der Diaphyse des Knochens.

ziemlich typischen Schnitte her. Natürlich darf man nicht erwarten, in denselben sämmtliche vorhandene, aber nicht ganz in derselben Ebene liegende Bälkchensysteme deutlich wiedergegeben zu finden; dazu wären Abbildungen vieler Schnitte erforderlich. Deswegen habe ich auch schematische Zeichnungen beigefügt, die unter Vergleichung sämmtlicher Schnitte ausgeführt worden sind; von dem einen Schnitt konnte ich das ergänzen, was auf einem andern vielleicht verdeckt war.

A. Humerus. (Taf. I. Fig. 1—10).

Der Gelenktheil. Betrachten wir zuerst einen vertikalen, durch den Humerus in der Frontalebene oder, noch besser, der Achse des Knochens paralell gelegten, also gebogenen Schnitt, der in dem nebenstehenden schematischen Bilde Fig. 1 wiedergegeben ist.

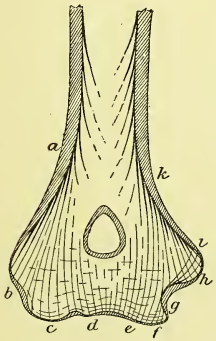


Fig. 1.

Im unteren Theile dieses Schnittes finden wir eine sehr dünne Rindenschicht; nur gleich unterhalb der Epicondylen (Fig. 1 *b*, *g*) ist diese Schicht etwas stärker und von einer Dicke von 1,5—3 mm. Auch in der Mitte der Trochlea und in der Furche für den Rand des Radiuskopfes finden wir bisweilen die Corticalis etwas verdickt.

Der Binnenraum ist von einer spongiösen Substanz erfüllt, in welcher wir mehr oder weniger deutliche Balkensysteme unterscheiden können. Von den Gelenkflächen strahlen rechtwinkelige, von der konkaven Fläche etwas divergirende und von der konvexen schwach konvergirende Balken in den Knochen hinein. Die mittleren dieser Balken sind unregelmässiger und schwächer und lassen sich nur schwer bis an die Compacta der Fossa olecrani verfolgen, wogegen die mehr seitlich belegenen in der Richtung *ca* und *ek* in sanftem Bogen nach oben ziehen, um sich nach und nach der Corticalis des Schaftes anzuschliessen. Am medialen Rand der Trochlea finden wir endlich einige Balken, die sich zu der Compacta unter dem medialen Epicondylus begeben (*fg*).

Die vertikalen Balken werden von horizontalen gekreuzt; ganz unten liegen die letzteren dicht aneinander und laufen paralell der Gelenkfläche; höher oben sind sie unregelmässiger und seltener, um in der Höhe der Fossa olecrani ganz aufzuhören.

In die Epicondylen strahlen von der Corticalis des Schaftes schwach divergirende Balken hinab (*ab* und *kh*). Im innern Epicondylus, bisweilen auch im äussern, wenn derselbe nämlich stärker hervorragt, werden diese Balken von einem andern Systeme (*gi*), das von der früher erwähnten Compacta (*g*) herkommt, gekreuzt.

Auf den Querschnitten (Fig. 2 und 3; Vgl. Taf. I Fig. 6—10) finden wir dieselben Systeme wieder. An der Gelenkfläche der Vorderseite sind die derselben paralellen Züge gut entwickelt, ebenso die seitlichen der

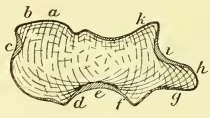


Fig. 2.

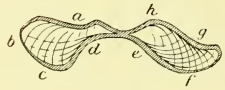


Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

senkrechten Züge; diese kann man theils bis an die Compacta an den Epicondylen (*bc* und *ki*), theils bis an die Seitenpartien der hintern Gelenkfläche verfolgen (*ad* und *kf*). In der Mitte sind sie weniger deutlich; die ganze Spongiosa ist hier ziemlich locker und unregelmässig. Am Grunde der hinteren Gelenkfläche finden wir eine ziemlich dicke Corticalis, von der quere Balkenzüge (*ec* und *ei*) in die Epicondylen ausstrahlen, wo sie rechtwinklig an der Oberfläche endigen; neue Balken von der hinteren Corticalis gesellen sich diesem Systeme zu (*gh*). Endlich sammeln sich einige von der hintern Seite des medialen Epicondylus ausgehende Balken (*gi*) in die vor ihm belegene Compacta. — Auf einem Querschnitte durch die Fossa olecrani (Fig. 3) finden wir die Epicondylensysteme gut entwickelt; die

sagittal stehenden Lamellensysteme der Gelenkflächen sind weniger deutlich ausgeprägt; sie sind wahrscheinlich schon zum grössten Theil in die vordere und hintere Corticalis übergegangen.

Da wir also dieselben Systeme sowohl auf Vertikal-, wie auf Horizontalschnitten von dem einen Schnitte zum andern verfolgen können, müssen sie wirklichen Lamellen und nicht nur schmalen Knochenbalken entsprechen. Dieses können wir auch leicht auf Sagittalschnitten durch den Gelenktheil konstatiren, wo wir die Platten auf der Fläche sehen; solche Schnitte sind eben deswegen weniger durchscheinend und geben auch weniger karakteristische Bilder. Ein Sagittalschnitt durch die Mitte der Trochlea (Fig. 8, Vgl. Taf. I Fig. 3) zeigt uns radiäre, gegen die dünne Stelle zusammenlaufende Balken und dieselben kreuzende koncentrische Bogen (*ab*). Dasselbe ist auch auf Schnitten durch die mediale Randpartie der Trochlea (Fig. 9) zu sehen. Weiter ist eine Verdickung der Corticalis an dem hintern obern Theil der Gelenkfläche unterhalb der Fossa olecrani (*b*) zu bemerken. Ein Sagittalschnitt durch das Capitulum hum. (Fig. 7) zeigt uns besonders im hintern Theile ein hübsches Gitterwerk, dessen Balken einerseits von dem Capitulum in sanften Bogen nach hinten oben verlaufen und gegen die hintere Corticalis konvergiren (*be*, *ce*), anderseits durch Auflösung der vorderen Rindenschicht entstehen und nach unten, weiter hinauf auch etwas nach hinten ausstrahlen (*ac*, *ad*). Wenigsteins ein Theil dieser Züge entsprechen aber nicht freistehenden Balken, sondern nur schrägen Schnitten durch die am Querschnitte sichtbaren Lamellensysteme (Fig. 3 *ac* und *db*). Ein hieran etwas erinnerndes Bild finden wir auf dem Sagittalschnitt des medialen Epicondylus (Fig. 10), wo wir auch ebenfalls überwiegend mit schräg geschnittenen Lamellen zu thun haben.

Die mechanische Bedeutung der erwähnten Lamellensysteme dürfte die folgende sein. — Der Druck des Radiuskopfes auf das Capitulum humeri wird durch die vertikalen Lamellen (Fig. 1, *ca*) auf die Corticalis des Schaftes übertragen. Bei den verschiedenen Winkelstellungen des Gelenkes wechselt natürlich die Richtung des Druckes bedeutend, doch bleibt sie immer annähernd in der Bewegungsebene. Dass für eine solche, in derselben Ebene wechselnde Richtung der Beanspruchung eine Anordnung der Knochensubstanz in breiten, dieser Ebene paralellen Lamellen am zweckmässigsten ist, ist oben schon hervorgehoben worden. Im Sagittalschnitte (Fig. 7) gelangt die specielle Inanspruchnahme des untern Humerusendes auf Biegungsfestigkeit zu einem klaren Ausdruck. Die Zeichnung stimmt augenscheinlich mit den Zug- und Drucktrajektorien eines gebogenen Balkens überein. Trifft der Druck die untere Fläche, so sind die von der hintern Corticalis ausstrahlenden Balken (Fig. 7 *eb*, *ec*) Zugelemente, die von den vordern ausgehenden (*ac*, *ab*)

Druckelemente. Trifft wieder der Druck von vorne, so hindert nichts, dass das vordere System als Zugbalken, das hintere als Druckbalken fungirt. — Dass diese Linien schräggeschnittenen Lamellen statt einfachen Bälkchen entsprechen, ist von keiner Bedeutung; die Lamellen leisten natürlich dasselbe, wie alle ihre Schnitte zusammen.

Der Druck der Ulna wird hauptsächlich von den Lamellensystemen *da* und *ek* (Fig. 1)auf den Humerusschaft fortgepflanzt. Von dem mittleren Theil der Trochlea wird der Druck theils durch die radiären Strahlen direkt, theils durch Vermittelung der vorderen, namentlich aber der hintern, dickern Corticalis auf die kompakte Lamelle zwischen der Fossa coronoidea und der Fossa olecrani und von dieser auf die vordere und hintere Wand des Schaftes fortgeleitet (Fig. 8). Von der inneren Randzone der Trochlea, bisweilen auch von dem äusseren Rand des Capitulum, wird der Druck auf die Compacta der Epicondylen gesammelt

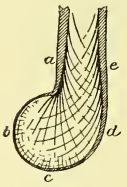


Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

(Fig. 1 *fg*). Die der Gelenkflächen paralell ziehenden Lamellen sind Streckbänder, um das Auseinanderweichen der Drucklamellen zu hindern. Demzufolge müssen sie auch am regelmässigsten an der vordern und unteren Fläche des Gelenkes, weniger deutlich an der hinteren Trochleafläche sein, wo der Druck geringer ist.

Die Epicondylen haben hauptsächlich dem Zug der Muskeln, der in allen Richtungen nach vorne und nach unten wirken kann, Widerstand zu leisten. Für die Beanspruchung in den Richtungen nach vorne finden wir Lamellensysteme (nicht Bälkchensysteme) nach dem Plane der Drucktrajektorien (Fig. 2 *kig* Fig. 3 *fh*, *ca*) und der Zugtrajektorien (Fig. 2 *ec*, *eh* und *gh*, Fig. 3 *db*, *eg)* angeordnet[1]). Dem Zug nach unten

[1]) Auch die früher besprochenen Lamellen am lateralen Rande des Capitulum (Fig. 2 *bc*) könnten als Druckelemente für die Einwirkung der am äusseren Epicondylus inserirenden Muskeln, also als analog dem System *kig* betrachtet werden.

leisten die Zugelemente (Fig. 1 *ab*, *hk*) sowie, am innern Epicondylus, die Druckelemente (*gi*) Widerstand.

Der Humerusschaft. Der Querschnitt eines Humerus etwas unterhalb der Tuberositas deltoidea hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks mit abgerundeten Ecken (Fig. 6); bisweilen ist er beinahe kreisrund. Die Corticalis ist ziemlich gleich stark und nur an den Ecken etwas dicker, wo sie auch spärliche Balken und Leisten ohne bestimmte Anordnung abgeben kann. Weiter nach unten, etwa vom Brachioradialis-Ursprung an, wird der Querschnitt breiter (Fig. 5); der laterale Winkel tritt mehr und mehr hervor und die Corticalis verdünnt sich durch Abgabe von Spongiosalamellen, von welchen die stärksten sich von der hintern Seite ablösen, um an der lateralen vorderen rechtwinklig zu endigen (*ba*). Diese Lamellen werden von anderen, dünneren gekreuzt, wodurch ein feines Gitterwerk entsteht. Noch weiter nach unten (Fig. 4) tritt auch der mediale Winkel weiter hervor und füllt sich mit spongiöser Substanz von etwa derselben Anordnung, wie die im lateralen Winkel vorhandene. Näher seiner Mitte wird der Markraum von dickeren, zu demselben Systeme gehörenden Balken durchsetzt, die von der hintern Seite nach oben aussen hinaufsteigen, was man am besten an einem der Länge nach halbirten Knochen sieht. Die genannten Lamellen können von Querschnitt zu Querschnitt bis in die Epicondylen verfolgt werden; an Sagittalschnitten bemerkt man, dass sie durchbrochen sind. — Etwas oberhalb der Fossa olecrani ist der Querschnitt ziemlich symmetrisch geworden; auch seine Mitte ist von Bälkchen durchsetzt, die von der hintern Seite nach vorne oben hinaufsteigen; diese Bälkchen divergiren hier weniger, als die höher oben belegenen.

Ein hohler Balken mit einer in allen Richtungen ziemlich symmetrischen Anordnung des Materials, wie der Querschnitt der Fig. 6 zeigt, muss annähernd dieselbe Biegungsfestigkeit in sämmtlichen Richtungen haben; auch ist er gut geeignet, reinen Druck- und Torsionsspannungen zu widerstehen. Es ist dies auch die typische Beanspruchung der mittleren Partie des Humerus; eine besonders vorherrschende Biegungsrichtung ist hier nicht vorhanden. Je mehr wir uns aber dem untern Ende nähern, um so stärker scheint sich die oben erwähnte laterale biegende Kraft des vom Radius ausgeübten Druckes geltend zu machen. Um dieser Kraft widerstehen zu können, muss der frontale Durchmesser vergrössert werden. Da aber die lateral biegende Kraft eine konstante Richtung hat und die Knochensubstanz nach

den Untersuchungen von Rauber (24) eine viel stärkere Druck-, als Zugspannung erträgt, so kann an der Druckseite weniger Material angewendet werden. Dieses sehen wir auch in dem spitzeren äussern Winkel und in dem Auftreten spongiöser Substanz daselbst [1]).

In der Spongiosa der Winkel finden wir den Trajektorientypus eines gebogenen Balkens ziemlich deutlich ausgesprochen. Hier haben wir es ja auch mit einer Beanspruchung auf Biegung (über die Fläche) zu thun, welche durch die am Margo lateralis und M. medialis inserirenden Muskeln besonders bei Flexionsstellung des Armes hervorgerufen wird. Die in einer Ebene wechselnde Angriffsrichtung der Kraft erklärt uns die Anwendung von Lamellen statt Balken. Die von der hintern Seite ausgehenden Lamellen (Fig. 5 *ba*) sind natürlich als Zugelemente, die dieselben kreuzenden als Druckelemente aufzufassen, ganz wie es in den Epicondylen der Fall ist. Wie zu erwarten war, sind die ersteren Lamellen stärker, als die letzteren.

Durch die nach vorne gebogene Gestalt des untern Humerusendes erhält dieser Abschnitt des Knochens eine grössere Festigkeit gegen einen auf seine vordere Fläche wirkenden Druck, der ihn also nach hinten zu biegen sucht. Durch die solchergestalt veränderte Richtung der Knochenachse wirkt nämlich die Kraft nicht mehr rechtwinklig, sondern in einem spitzen Winkel auf diese Fläche, wobei, wie im Vorigen hervorgehoben wurde, die neutrale Achse des Balkens mehr nach der (vordern) Zugseite verlegt wird. Das Baumaterial an dieser Seite wird also weniger stark beansprucht, als an der (hintern) Druckseite, was mit der verschieden grossen Festigkeit der Knochensubstanz gegen Druck und Zug vollständig harmonirt. Hieraus folgt aber auch, dass der Humerus gegen eine von hinten auf sein unteres Ende einwirkende Kraft eine weit geringere Festigkeit besitzen muss.

Die früher erwähnten, von der hintern Wand der Diaphyse an die Vorderwand schräg hinaufsteigenden Spongiosabalken werden natürlich von einer den Knochen nach hinten biegenden Kraft stark auf Zugfestigkeit beansprucht. Sie vermehren die Wiederstandsfähigkeit des Knochens in dieser Richtung.

---

[1]) In dem Kapitel über die komparative Osteologie werde ich hierauf zurückkommen.

B. Ulna. (Taf. I, Fig. 11—16.)

An einem Sagittalschnitte durch die Achse der Ulna (Fig. 11) finden wir, dass die starke Rindenschicht der Schaftes nach oben immer dünner wird. Nur an der Gelenkfläche, und zwar an ihrem mittleren Theil, finden wir wieder eine deutliche Compacta. An der hintern Wand der Ulna sieht man deutlich, dass ihre Corticalis nur eine verdichtete Spongiosa ist; feine, der Oberfläche paralelle Kanäl-

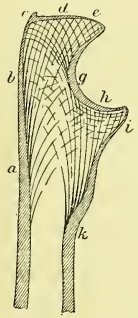


Fig. 11.

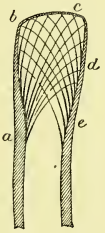


Fig. 12.

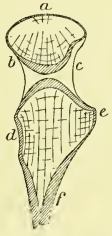


Fig. 13.

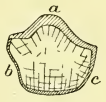


Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

chen durchsetzen sie. Am hintern Winkel des Olecranon pflegt zuweilen, besonders im höheren Alter, eine kleine, mehr oder weniger über die Oberfläche hervorragende Insel von kompakter Knochensubstanz aufzutreten. Das stärkste der Bälkchensysteme, in welche sich die hintere Corticalis auflöst, zieht, nur schwach divergirend, nach dem hintern Theil der oberen Olecranonfläche (Fig. 11 *ad*). Die übrigen Bälkchen laufen in stärkeren Bogen theils nach der Mitte der Incisura semilun. (*ag*), theils in den Schnabel des Olecranons hinein die unteren und schwächsten, nicht ganz konstanten, gehen in die horizontalen Balken des Processus coronoid. über (*ai*). Die genannten Züge werden von Bälkchen gekreuzt, die der vorderen Wand angehören. Von

der obern Olecranonfläche gehen nämlich etwas konvergirende Bogenfasern an die Incis. semilun. hinüber; die vorderen Fasern durchsetzen die Olecranonspitze und stehen mehr radiär auf dem obern Theil der Gelenkfläche; die hinteren, stärkeren legen sich der Mitte der Incisur tangentail an (*cg*). Als eine Fortsetzung derselben ziehen stärkere Balken (*gk*) gerade nach unten, um sich in der Höhe der Brachialisinsertion der Corticalis des Proc. coronoid., die durch Zusammenlaufen der auf dem untern Theil der Incisur senkrecht stehenden feineren Bälkchen (*hk*) gebildet wird, anzuschliessen. Einzelne Züge von der hinteren Wand laufen auch an dieser Stelle zusammen. (*bk*). Die in der Olecranonspitze und im Proc. coron. senkrecht auf der Gelenkfläche stehenden Züge werden durch feine, dieser Fläche paralelle Bälkchen zu einem zarten Netzwerk verbunden. Von der Mitte der Incisur strahlen bisweilen divergirende Züge gerade gegen die hintere Wand hinüber (*gb*). An der Ansatzstelle des Brachialis ist die vordere Wand verdickt; in dieser Höhe ist die Mitte des Knochens oft von einem sehr spärlichen, unregelmässigen Spongiosagefüge erfüllt.

Auf dem Frontalschnitt (Fig. 12) sehen wir auch die Seitenwände sich in fächerförmig divergirende Systeme auflösen, die nach der ganzen oberen Fläche des Olecranon ziehen (Fig. 12 *ac* und *eb*). Besonders von der äussern Seite gehen auch Züge zur entgegengesetzten Wand hinüber (*ad*). An einem mehr volarwärts gelegenen Schnitt, der den Proc. coronoid. an seiner Basis abschneidet, sehen wir im Olecranon rechtwinkelig auf der Gelenkfläche stehende, nach oben konvergirende Balken (*ba*, *ca*) und diese Balken kreuzende Querzüge. Im Processus coronoideus sind die stärkeren Balken longitudinal; feinere Züge laufen horizontal. Besonders dicht stehen die Balken in dem Vorsprung an der innern Seite (*e*) und an der Incisura radialis (*d*), wo das Netzwerk sehr regelmässig ist.

Auf den Querschnitten (Fig. 14—15) finden wir das hintere Corticalissystem des Sagittalschnittes als frontale (*bc*), die Bogensysteme des Frontalschnittes als sagittale Lamellen wieder. Auf der Gelenkfläche senkrecht stehende und einzelne ihr paralelle Balken kann man auch unterscheiden. In der Mitte kreuzen sich die Systeme und bilden ein schwer zu entwirrendes Gefüge. An der Aussenseite des Proc. coronoid. (Fig. 16 *a*) sehen wir das feine Maschenwerk der Incisura radialis.

In der Höhe der Brachialisinsertion finden wir die Markhöhle überwiegend von sagittalen Lamellen durchsetzt, die an den Seitenwänden etwas zahlreicher, in der Mitte spärlicher auftreten. Auch auf Frontalschnitten können wir diese Lamellen sehen (Fig. 13 *f*). Weiter nach unten wird die Corticalis immer dicker und im ganzen Umfang ziemlich

gleich stark, der Querschnitt hat die Form eines Dreiecks mit vorderer Fläche und stark vorspringendem innern Winkel. Nur einzelne Spongiosabälkchen durchsetzen die Ecken des Markraums, namentlich die innere.

Wie sind nun diese Bälkchen- und Lamellensysteme zu beurtheilen? Das der hintern Corticalis angehörende System müssen Zugfasern sein, die eine knöcherne Fortsetzung der Tricepssehne bilden. Die Lamellensysteme des Frontalschnitts leiten in derselben Weise den Zug auf die Seitenwände des Schaftes fort. Bei Winkelstellung des Gelenkes fanden wir, dass der Zug des Triceps auch beträchliche Druckspannungen im Olecranon hervorbringt; diesem Drucke Widerstand zu leisten, ist die Aufgabe des Systems *cg* in Fig. 11. Diese einander kreuzenden Zug- und Drucksysteme bringen uns wieder die Trajektorien eines gebogenen Balkens in die Erinnerung; eine derartige Beanspruchung ist gewissermassen auch in diesem obern Hebelarme vorhanden. Viel mehr typisch ist aber diese Anordnung im Olecranon der auf allen Vieren laufenden Thiere. — Sämmtliche auf der Gelenkfläche senkrecht stehende Balken haben natürlich den auf dieser lastenden Druck zu tragen; die diese Balken kreuzenden Streckbänder, welche die seitlichen Verschiebungen der Druckelemente verhindern sollen, sind an den konkaven Flächen auf Zug, auf den konvexen auf Druck beansprucht. — An der Mitte der Incisura semilunaris sind die radiären Druckbalken wenig entwickelt. Es scheint dies die Ansicht Hueters (55) zu stützen, dass diese Partie keinem oder nur einem geringen Druck ausgesetzt ist; wir haben aber hier auch das starke System *cgk*, das den auf dem Grunde der Incisur lastenden Druck wie ein Gewölbe trägt. — (Die an der Brachialisinsertion befindlichen sagittalen Lamellen übertragen den Zug dieses Muskels auch auf den hintern Abschnitt des Knochens; die Flächenausbreitung dieser Elemente ist unschwer aus der in einer und derselben Ebene wechselnden Zugrichtung zu erklären). Die überwiegend sagittale Ausdehnung des Querschnittes ist von den in dieser Ebene hauptsächlich wirkenden Beanspruchungen auf Biegungsfestigkeit bedingt. — Die starke Crista interossea muss natürlich dem Knochen eine grössere Festigkeit gegen Biegung nach ihrer Seite (d. h. nach vorne und aussen) geben; diese statische Bedeutung dürfte jedoch gegen den passiven Zug der Membrana interossea mehr in den Hintergrund treten. Knochenbildungen an den Ansatzstellen der Bänder begegnen wir ja vielerorts im Organismus.

Die Verdickung der Corticalis an der obern hintern Kante des Olecranon betrachte ich auch als eine Bildung dieser Art; sie ist eine Verknöcherung der Tricepssehne, wahrscheinlich durch die hier besonders oft treffenden Traumen begünstigt.

C. Radius. (Taf. I, Fig. 17—21).

Weit einfacher als die Architektur des Humerus und der Ulna ist die des Radius. Ein Längsschnitt durch diesen Knochen, der die Tuberosität halbirt (Textfig. 17), zeigt uns an der oberen Endfläche eine relativ starke Compacta, die dicker in der Mitte, dünner nach der Peripherie, besonders aber nach dem äusseren Rand hin ist, wo sie sich oft in ein paar dünne Lamellen auflöst. Bei genauerer Betrachtung sieht man aber eine Andeutung einer Spaltung dieser Compacta durch ein System kleiner Hohlräume in zwei Platten, einen oberen, flacheren und einer unteren, mehr gebogenen. Senkrecht gegen diese Compacta stehen Balken oder Lamellen, die, etwas konvergirend,

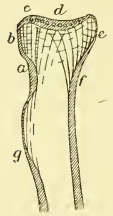


Fig. 17.

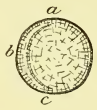


Fig. 18.

Fig. 19.

Fig. 20.

die Corticalis des Halses erreichen, wodurch dieselbe beträchtlich an Dicke gewinnt. Sie stehen an der innern Seite dichter (*ac*) und sind mit einander durch quere Balken verbunden. Die Querbalken sind in der Mitte mehr unregelmässig angeordnet; an der innern Seite laufen sie ganz horizontal und sehr nahe einander; an dem äusseren Rande (*e*) stehen sie weniger dicht und ziehen schräg nach unten lateralwärts um die Begrenzungsfläche unter rechten Winkeln zu treffen. Ein gegen diesen Schnitt winkelrechter Längsschnitt zeigt nichts neues. Dagegen lehrt uns der Querschnitt (Fig. 18), dass die Balken des Längsschnittes breiten Lamellen entsprechen, die in der Mitte ein spärlicheres, ziemlich unregelmässiges Netzwerk bilden, nach der Peripherie hin aber eine deutlich koncentrische und radiäre Anordnung haben. Das dichtere Gefüge an der Gelenkfläche gegen die Ulna zeigt sich auf dem Querschnitt bisweilen von der übrigen Spongiosa durch eine stärkere La-

melle getrennt; es tritt dann als eine weniger durchsichtige, halbmondförmige Partie hervor (*abc*).

Die mechanische Deutung dieser Struktur ergiebt sich von selbst. Die vertikalen Lamellen sind natürlich Druckelemente, die queren Zugelemente, die als Streckbänder für die ersteren fungiren. Die dichtere, regelmässigere Spongiosa der innern Seite hat dem Drucke der Incis. radial. zu begegnen; die äussern, schrägen Querlamellen nehmen den Druck des Ligam. annulare auf.

Die Anordnung der Corticalis in der Fovea, ihre Spaltung in zwei verschieden stark gebogene Platten mit vertikalen Verbindungen, erinnert etwas an eine im Brückenbau oft angewendete Konstruktion, das parabolische Fachwerk, wodurch die Spannungen in einem an seinen Endpunkten unterstützten Tragbalken möglichst gleichförmig vertheilt werden. Auf eine detaillirte Vergleichung gehe ich hier nicht ein; ich will nur hervorheben, dass die fragliche Corticalis, obgleich sie auch in der Mitte durch vertikale Lamellen unterstützt wird, ihre hauptsächliche Stütze in den peripheren Partien hat.

Die Corticalis des Halses löst sich am obern Ende der Tuberosität in senkrechte Lamellen auf, die sich am unteren Ende derselben wieder zu einer ziemlich dicken Compacta vereinigen (Fig. 17 *ag*). Auf einem Querschnitt in dieser Höhe finden wir diese Lamellen wieder (Fig. 20 *ac* und *bd*), und ihr Entstehen durch Auflösung der Compacta vor und hinter der Tuberosität ist leicht zu konstatiren. Das vordere und das hintere System kreuzen einander mehr oder weniger regelmässig. Dieselben haben natürlich dem Zuge und dem Seitendrucke der Bicepssehne Widerstand zu leisten, und da die Richtung dieses Zuges mit den verschiedenen Stellungen des Gelenks wechselt, müssen wieder Lamellen statt Balken angewendet werden.

Der Hals (Fig. 19) und die Partie unmittelbar unterhalb der Tuberosität etwa bis an den Ansatz des Pronator ter. haben in der Regel einen ovalen Querschnitt, dessen grösserer Durchmesser bei nicht ganz voller Supination sagittal steht. Die Knochenwand ist ringsum ziemlich gleich stark, der Hohlraum von unregelmässigen, spärlichen Lamellen und Leisten erfüllt. Wenn wir bedenken, dass die kräftigeren Beugebewegungen des Ellenbogengelenks (z. B. beim Heben einer Last) weit öfter mit supinirtem oder halbsupinirtem als mit pronirtem Unterarm ausgeführt werden, ist es ja einleuchtend, weshalb der Querschnitt eben die genannte Form hat; in solcher Weise hat der Balken in der Ebene seiner stärksten Biegungsbeanspruchung (durch den Bicepszug) eine stärkere Festigkeit erhalten. Noch weiter unten tritt die Crista interossea auf, und der Querschnitt wird mehr dreieckig, mit einem spitzen Winkel nach der ulnaren Seite. Es ist wohl dieses hauptsächlich eine Folge des

Zuges der Membrana interossea; theilweise kann es aber auch seinen Grund in der gebogenen, lateralwärts konvexen Gestalt des Radiusschaftes haben. Eine in der Längsrichtung eines gebogenen Balkens wirkende Kraft (hier z. B. die äussere Belastung und der Zug der Epicondylenmuskeln an der Hand) strebt, seine Biegung zu vermehren. Die Biegungsbeanspruchungen haben also eine ziemlich konstante Richtung; die Zweckmässigkeit eines unsymmetrischen Querschnitts in solchen Fällen habe ich oben in Bezug auf den Humerus hervorgehoben.

Schon mehrmals habe ich darauf hingewiesen, dass die Corticalis der Knochen durch das Zusammentreten der Spongiosabalken gebildet wird, weshalb sie auch nur als eine verdichtete Spongiosa aufzufassen ist. Sie besitzt hauptsächlich dieselben physikalischen Eigenschaften wie diese, auch hat sie ähnlichen mechanischen Anforderungen zu genügen. Die Trajektorien in der peripheren Schicht eines Balkens verlaufen überwiegend longitudinal und der Oberfläche paralell. Dieselbe Richtung haben auch die Fasern der Corticalis in den Röhrenknochen. — Um mir die Anordnung derselben übersichtlich darstellen zu können, habe ich die Knochen in Salzsäure entkalkt und dann entweder zerfasert, oder auch in sie mittels einer runden Ahle Löcher gestochen, die sich zu lineären Spalten in der Richtung der Fibrillen zusammenzogen [1]). Die Fasern verlaufen überall longitudinal; am Humerus weichen sie oberhalb der Fossa olecrani seitlich ab, um in die beiden Balken, die den Gelenktheil tragen, überzugehen. Von einer Spiralrichtung der Fibrillen, die durch eine Torsion des Humerusschaftes enstanden sein könnte, habe ich nichts bemerken können.

Für die Richtigkeit der obenstehenden mehr teoretischen Schlüsse würden natürlich experimentale Untersuchungen über die Bruchfestigkeit der Knochen in verschiedenen Richtungen den besten Beweis geben. — Wegen Mangel an geeignetem frischen Material musste ich aber die beabsichtigten Versuche über die Widerstandsfähigkeit der Armknochen gegen verschiedenartige, äussere Gewalteinwirkungen gänzlich aufgeben.

In den Erfahrungen der Chirurgen von der Häufigkeit der einen oder anderen Fraktur und der dabei vorkommenden Dislokationen können kaum stichhaltige Beweise für die verschiedene Bruchfestigkeit der Knochen gesucht werden. Die Entstehung einer Fraktur ist nämlich viel mehr von der Art und Grösse der einwirkenden Gewalt, als von

[1]) Dieselbe Methode hat früher LANGER (79) für das Studium der Spaltrichtungen in der Haut angewendet.

einer mehr oder weniger grossen Festigkeit des Knochens abhängig. Ist z. B. bei der Fractura supracondyloidea eine gewisse Dislokation des untern Fragmentes häufiger als andere[1]), so kann die Ursache leicht darin liegen, dass die Extremität in Folge ihrer Anwendungsweise von der Gewalt häufiger in einer bestimmten Richtung getroffen wird.

[1]) Welche Dislokation hierbei gewöhnlicher ist, darüber sind die Verfasser nicht einig. SCHÜLLER (89) sah öfter eine Verstellung des untern Bruchstückes nach hinten, BARDENHEUER (72) dagegen nach vorne.

Kap. IV. Die Knorpel und die Gelenkflächen.

Die mit einander in Kontakt stehenden Knochenflächen des Ellenbogengelenks sind von einer an den verschiedenen Stellen nicht ganz gleich starken Lage hyalinen Knorpels bedeckt. — Am Humerus hat diese Lage eine mittlere Dicke von etwa 1,5 mm. In der Mitte der Trochlea und an der Leiste zwischen ihr und dem Capitulum hum. ist sie etwas dicker, doch überschreitet ihre Dicke selten 2 mm. Nach den Rändern der Gelenkfläche zu wird sie dünner, namentlich aber auf der hintern Seite unterhalb der Fossa olecrani, — gerade da, wo wir eine Verstärkung der kompakten Knochensubstanz fanden.

In der Incisura semilunaris ist die Dicke des Knorpels etwas geringer, namentlich an der oberen Hälfte. Der Knorpel der Incisura radialis ist in seinem mittleren Theil ziemlich dick (c. 1,5 mm), wird aber nach vorne und hinten viel dünner, wodurch die Oberfläche des Knorpels weniger gebogen erscheint, als die des macerirten Knochens.

Die Knorpelbedeckung der Circumferentia articul. des Radius ist gleichfalls in der Mitte am stärksten; nach vorne und hinten wird sie allmählich dünner, bis sie ganz aufhört. Die Randzone der obern Gelenkfläche des Radiuskopfes hat einen relativ (beinahe 2 mm) dicken Knorpel; in der eigentlichen Fovea misst er etwa 1 mm, wird aber in der centralen Partie etwas stärker.

Der Knorpel dehnt sich an einigen Stellen auch etwas über die eigentlichen Berührungsflächen des Gelenks hinaus aus. Der laterale Rand des Capitulum hum., auf dem das Lig. collaterale rad. bei den Bewegungen unter stärkerem Druck gleitet, ist von einem dünnen Knorpelsaum bedeckt. Am medialen scharfen Rande der Trochlea, an der Spitze des Knochenfortsatzes, an dem Schnabel des Olecranon und am lateralen Rand des Radiuskopfes finden wir auch oft einen überknorpelten Streifen von wechselnder Breite, der in keiner Lage des Gelenks mit anderen Knochen in Kontakt steht.

An bestimmten Stellen des Gelenks zeigt der Knorpel, namentlich bei älteren Individuen, ein etwas verändertes Aussehen, indem er lockerer und schwammiger erscheint. Dieses ist einerseits da der Fall, wo die Gelenkflächen aller drei Knochen zusammentreffen, also längs der Leit-

furche und der Leiste der Humerusrolle, an der Kante zwischen der Incisura semilunaris und der Incis. radialis sowie an der Randpartie des Radiuskopfes, namentlich an der medialen Hälfte desselben. Die geringere Konsistenz des Knorpels an diesen Stellen lässt natürlich die Gelenkflächen sich viel genauer an einander anschmiegen [1]). Andererseits treffen wir in der Regel solchen mehr lockeren Knorpel auf einer kleinen, der Incis. semilun. angehörenden Fläche unmittelbar hinter und oberhalb der Incisura radialis, da, wo der hinterste Theil von der Führungsleiste der Humerusrolle bei voller Extension anstösst. Die letztere Fläche kann aber auch der Knorpelbekleidung ganz ermangeln und nur von Periost und Synovialis bedeckt sein.

Die wichtigste Aufgabe des Gelenkknorpels ist die, eine elastische Zwischenlage der Knochenenden zu sein, wodurch bei stärkerer Kraftentwicklung einerseits eine möglichst genaue Kongruenz der Gelenkflächen und dadurch auch eine möglichst grosse Präcision der Bewegungen erreicht, andererseits der Druck so gleichmässig wie möglich auf eine grössere Fläche des Knochens übertragen wird.

Die durch den Druck der Gelenkflächen gegen einander eintretenden mechanischen Beanspruchungen des Knorpels in ihren Einzelheiten zu erörtern, würde wahrscheinlich eine höchst schwierige Aufgabe sein. Nur eine relativ einfache Frage will ich hier kurz berühren, nämlich die Frage von den überwiegenden Richtungen der nahe der Oberfläche des Knorpels und ihr paralell liegenden Spannungen (der Tangentialspannungen) in dem Gelenkknorpel.

Es wurde im vorigen Kapitel hervorgehoben, dass der Druck einer konkaven und einer kongruent konvexen Körperfläche gegen einander in beiden Körpern ausser den zur Fläche perpendikulären Normalspannungen auch Tangentialspannungen, und zwar im konkaven überwiegend Zugspannungen, im konvexen Druckspannungen hervorrufen muss. Diese Spannungen liegen grösstentheils in der Normalebene des Angriffswinkels; und da die in der Richtung der Tangente liegende Komponente der drückenden Kraft bei kleinerem Winkel immer grösser wird, müssen auch die Tangentialspannungen dementsprechend zunehmen. Es sind folglich diese Spannungen wenigstens im Verhältniss zu den Normalspannungen in den peripher belegenen Theilen einer sphärischen Gelenkfläche am stärksten; sie sind weiter an (den Rand-

[1]) Diese Stellen scheinen auch senilen Veränderungen besonders stark ausgesetzt zu sein. Man trifft hier öfter als sonst im Gelenke Auffaserung und Schwund des Knorpels.

partien) einer Gelenkfläche mit kleinerem Radius stärker als in einer gleich grossen Fläche mit grösserem Radius. In einer eiförmigen Gelenkfläche endlich müssen sie in der Ebene des kürzeren Radius stärker sein, als in der Ebene des längeren.

Andererseits liegt es offen zu Tage, dass, wenn die Gelenkflächen gegen einander gedrückt werden, die am Rande der Flächen gelegene Partie der elastischen Zwischenlage nach aussen zu weichen strebt, wo sie keinem oder nur geringem Widerstand begegnet. In Folge dessen müssen in dieser Randzone Zugspannungen entstehen, die radiär gegen den freien Rand ausstrahlen.

Wenn wir das eben Gesagte auf die Knorpelflächen des Ellenbogengelenks anwenden wollen, so finden wir, dass in der Trochlea die Zugspannungen hauptsächlich transversal, paralell der Gelenkachse, verlaufen müssen, denn in dieser Ebene ist die Fläche (am meisten) konkav, wogegen die stärksten Druckspannungen vertikal, also der Flexionsebene des Gelenks paralell verlaufen, weil die Fläche in dieser Ebene (am meisten) konvex ist. Die Konkavität und die Konvexität der Incisura sigmoidea liegen in entgegengesetzten Richtungen; es müssen also hier die grössten Zugspannungen vertikal, die grössten Druckspannungen transversal verlaufen. — In der konkav-sphärischen Fovea cap. rad. müssen hauptsächlich Zugspannungen, und zwar in radiärer Richtung bestehen, und diese müssen grösser an der Peripherie, als in der Mitte sein. —

Am konvexen Capitulum humeri überwiegen natürlich die Druckspannungen, und dieselben liegen radiär zum Centrum der drückenden Fovea. Da aber der Bogen eines Vertikalschnittes einen etwas kleineren Radius, als der des Horizontalschnittes hat (s. u.), so müssen die in vertikaler Richtung liegenden Spannungen die stärkeren sein. — An der Circumferentia cap. rad. müssen ebenso die hauptsächlichen Druckspannungen in der Richtung der Konvexität, also horizontal, und an der Incisura radial. die grössten Zugspannungen in derselben Richtung verlaufen.

Es frägt sich nun, ob man in den physikalischen Eigenschaften und dem feineren Bau des Knorpels einen Ausdruck dieser verschiedenen mechanischen Beanspruchungen finden kann, ob seine Resistenz gegen Zug und Druck in der einen Richtung stärker ist als in einer anderen. Direkte Versuche, wie sie bei Prüfungen technischer Materialien auf ihre Festigkeit gemacht werden, lassen sich mit den in Frage stehenden Knorpeln nur schwer ausführen, da man grössere Stücke davon nicht bekommen und für eine solche Detailuntersuchung auch nicht gut anwenden kann. Über die Richtung der grössten Zugfestigkeit kann man sich aber in der Weise Auskunft verschaffen, dass man die vorherrschen-

den Spaltrichtungen des Knorpels bestimmt. Wenn man eine genau konische (nicht zu spitzwinklige) Ahle in den Knorpel senkrecht auf seine Oberfläche hineindrückt, lässt dieselbe nach dem Herausziehen gewöhnlich eine feine, gerade Spalte (seltener eine sternförmige Figur) zurück. Wenn man in die in solcher Weise gemachten Spalten feine schwarze Ölfarbe reibt, bekommt man an der Gelenkfläche ein System feiner Linien, die einander ziemlich paralell oder stellenweise leicht divergirend verlaufen. (Vergl. Taf. II).

Dass diese Linien in der Richtung der grössten Zugfestigkeit (oder der kleinsten Druckfestigkeit) liegen müssen, scheint mir schon aus den ersten axiomatischen Grundbegriffen der Festigkeitslehre ziemlich klar hervorzugehen. — Nehmen wir an, dass in einem Körper die Zugfestigkeit in zwei auf einander winkelrechten Richtungen verschieden gross ist, so müssen natürlich die Elementartheile des Körpers eben in derjenigen Richtung leichter von einander getrennt werden, in welcher die attrahirenden Molekularkräfte, welche ja die Zugfestigkeit bedingen, kleiner sind, schwerer dagegen da, wo sie grösser sind. Beim Überschreiten der Festigkeitsgrenze geschieht die Trennung zuerst da, wo die von der einwirkenden Kraft hervorgerufenen Zugspannungen mit der Richtung der kleinsten Zugfestigkeit zusammenfallen, d. h. in einer Linie, die gegen die Richtung der kleineren Zugfestigkeit winkelrecht und mit derjenigen der grösseren paralell ist[1]). Man könnte sich vielleicht auch denken, dass die Form der Oberfläche an sich oder die Beschaffenheit der Unterlage des Knorpels auf die Spaltrichtung einen Einfluss ausübt und dass sie also nicht auf eine verschiedene Festigkeit der Knorpelsubstanz zurückgeführt zu werden braucht. Dass dieses aber nicht der Fall ist, ersehen wir einerseits aus dem Umstand, dass dünne Flächenschnitte des Knorpels genau dieselbe Spaltbarkeit wie der Knorpel in loco zeigen, andererseits daraus, dass von einer elastischen homogenen Substanz, z. B. dickem Leim, gefertigte Abgüsse der Gelenkflächen keine konstante Spaltrichtung, sondern ganz unregelmässige Risse zeigen.

Betrachten wir jetzt die Figuren auf der Tafel II, die die Spaltrichtungen des Knorpels in einem weiblichen Ellenbogengelenke photographisch wiedergeben, so finden wir, dass die Linien grösstentheils bestimmten Hauptrichtungen folgen. In der Trochlea liegen sie überwiegend paralell der Bewegungsachse, in der Incisura semilunaris senkrecht zu derselben, und in der Fovea haben sie einen vorwiegend radiären Verlauf. An der Oberfläche des Capitulum sind die Richtungen

[1]) Sollte in einem gegebenen Falle die Druckfestigkeit für die Spaltrichtung massgebend sein, so müssen sich die Moleküle in der Richtung der kleineren Druckfestigkeit leichter als in der der grösseren verschieben lassen; es muss also der grössere Durchmesser des Loches der ersteren gleichgerichtet sein.

der Spalten etwas mehr wechselnd, doch überwiegt die transversale, der Gelenkachse paralelle, entschieden die anderen. In der Mittelzone der Trochlea und im Centrum der Fovea ist die Spaltrichtung mehr unbestimmt, und an den Grenzen der Knorpelflächen scheinen die Linien eine Neigung zu haben, mehr winkelrecht zu dem freien Rande hinauszustrahlen.

Die jetzt beschriebenen Spaltrichtungen der Knorpel sind im erwachsenen menschlichen Ellenbogengelenke konstant vorhanden. Acht untersuchte Gelenke von Individuen verschiedenen Alters (von 15 Jahren an) und beider Geschlechter gaben ganz übereinstimmende Resultate [1]). — Ein völlig konstanter Befund war auch ein System vertikaler Spalten an der Leitfurche der Humerusrolle, das in der Mehrzahl der Fälle im obern Theile auf die Trochlea übergriff und hier eine Richtung schräg nach oben und medialwärts bekam. Zu bemerken ist auch die immer vorkommende, schwach S-förmige Krümmung der Spaltzüge an der hintern untern Seite der Trochlea.

An den Knorpeln der Incisura radialis und der Circumferentia des Radiuskopfes spielen öfter individuelle Variationen etwas ein. Das abgebildete Gelenk kann aber als ziemlich typisch angesehen werden. In der Mitte der Incisura rad. sind die Spalten vertikal, am hintern Rande, und noch mehr im vordern Theile, sind sie in verschiedenem Grade schräge oder auch völlig transversal. — An der Circumferentia haben sie im vordern Theil öfter einen überwiegend transversalen Verlauf; in dem hintern stehen sie mehr vertikal. Bisweilen war aber beinahe an der ganzen Fläche die vertikale Richtung die vorherrschende. — An dem untern medialen Viertel der Incis. semilunaris sind die Spalten in einzelnen Fällen auch nicht ganz so regelmässig, wie in der übrigen Incisur. An der Führungsleiste selbst und am Rande des Capit. radii, wo wir den mehr lockeren Knorpel fanden, können die Spalten oft gar nicht dargestellt werden.

Die Übereinstimmung der vorherrschenden Spaltrichtungen in den erstgenannten grösseren Gelenkflächen mit den oben erörterten Tangentialspannungen fällt uns sogleich in die Augen. In der Richtung der stärkeren Zugspannungen spaltet sich der Knorpel immer; in dieser Richtung hat er seine grösste Zugfestigkeit. Am Capitulum humeri, wo die Druckspannungen wegen der konvexen Form der Oberfläche überwiegen, finden wir die Spalten in der Richtung der kleineren Druckspannungen liegen [2]).

---

[1]) Wie wir später sehen werden, sind sie im Hauptsächlichen auch bei Kindern und sogar bei grösseren Embryonen zu finden.

[2]) Es scheint mir sehr fraglich zu sein, ob nicht auch hier die Zugspannungen für die Spaltrichtungen massgebend sein können. Auch in einem konvexen Körper

Mit den durch den einfachen Druck der Gelenkflächen auf einander hervorgerufenen Spannungen stimmt dagegen das vertikale Spaltensystem der Leitfurche nicht überein. — Welches anderes Moment könnte hier wirksam sein? Es scheint mir äusserst wahrscheinlich zu sein, dass die Friktion hierbei die Hauptrolle spielt. Eben wegen der früher erwähnten Beschaffenheit des Knorpels an dieser Stelle dürfte hier gegenüber dem direkten Drucke die Reibung besonders stark sein. Wo aber ein Körper auf einem andern unter Friktion gleitet, müssen in beiden Körpern vorwiegend Tangentialspannungen (Zug- und Druckspannungen) eintreten, die in der Richtung der Bewegung liegen; je grösser die Friktion ist, desto stärker sind auch die Spannungen. Es lässt sich also auch die Spaltrichtung der Leitfurche ungesuchter Weise nach rein mechanischen Principien erklären. — Immerhin bleiben noch das Abweichen des letzteren Spaltensystems oben in medialer Richtung und die individuell wechselnden Spaltrichtungen an den Knorpeln des Radioulnargelenks ohne befriedigende Erklärung. Es kann sein, dass auch diese Eigenthümlichkeiten von rein mechanischen Beanspruchungen bedingt sind; sie können vielleicht auch durch Wachsthumsverschiebungen od. dgl. hervorgerufen sein; vorläufig will ich mich hierüber nicht mit Bestimmtheit äussern[1]).

Ist also unzweifelhaft eine in bestimmten Richtungen verschieden starke Zugfestigkeit in den betreffenden Knorpeln vorhanden, so bleibt noch die Frage zu beantworten, wie dieselbe erreicht wird. A priori scheint es kaum anfechtbar zu sein, diese Eigenschaft des Knorpels auf eine Anordnung der Moleküle zu Fasern, ob optisch erkennbar oder nicht, zurückzuführen. Bekanntlich lässt sich nach bestimmten Methoden in der Grundsubstanz des hyalinen Knorpels eine feine Faserung darthun. Die Fibrillen stehen nach Hammar (75) in der tiefen Schicht senkrecht zur Oberfläche, in der oberflächlichen paralell derselben, und zwar »entweder in einer einzigen Hauptrichtung, oder auch bilden sie eine Anzahl der Oberfläche paraleller Bündel, die sich mit einander in verschiedenen Richtungen verflechten». Auch sollen nach ihm in einem einachsigen Gelenke die mehr frei auf der Oberfläche liegenden Fasern der Bewegungsrichtung paralell sein. Über die Faserrichtung eines bestimmten Gelenkknorpels habe ich keine Angaben finden können.

---

kommen Zugspannungen vor, obgleich sie hier gegen die Druckspannungen mehr in den Hintergrund treten.

[1]) Es dürfte kaum der Hinweis nöthig sein, dass an den Stellen, wo die Zonen der verschiedenen Spaltrichtungen zusammentreffen, eine scharfe lineäre Grenze nicht bestehen kann, sondern ein allmählicher Übergang des einen Systemes in das andere eintreten muss, da die an den einzelnen Punkten wirkenden Kräfte natürlich nur allmählich ihre Richtung ändern.

Dass eine wirkliche Faserung der Knorpel des Ellenbogengelenks sich in den durch die Spaltmethode bestimmten Richtungen findet, habe ich wiederholentlich nachweisen können. Einerseits konnte ich mehrmals, namentlich an verwesenden Gelenken älterer Individuen, die oberflächliche Schicht des Knorpels in sehr dünnen, 1 bis 2 cm langen, kaum 1 mm breiten Streifen abreissen, die in der Trochlea transversal, in der Incisura semilunaris vertikal verliefen. Andererseits habe ich auch sowohl an Flächenschnitten, wie an den eben genannten abgerissenen Streifen mikroskopisch deutliche Fibrillen und Fibrillenbündel gesehen, die so gut wie sämmtlich in der genannten Richtung lagen.

Natürlich musste ich angelegen sein nachzusehen, ob in den übrigen Gelenken des menschlichen Körpers eine ähnliche gesetzmässige Spaltbarkeit des Knorpels vorhanden sei. Soweit sich aus meinen noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen, die sich über die Mehrzahl der Extremitätengelenke des Menschen erstrecken, schliessen lässt, ist dies wirklich der Fall. In dem hyalinen Knorpel der meisten untersuchten Gelenke fand ich eine bei den verschiedenen Individuen nur wenig wechselnde Anordnung der Spaltrichtungen. Nur an relativ wenigen Stellen traten unregelmässige Risse anstatt Spalten auf. Er scheint daher die Regel zu sein, dass der Gelenkknorpel in einer für jedes Gelenk bestimmten Richtung eine grössere Zugfestigkeit als in anderen Richtungen besitzt, was sich nur aus einer gesetzmässigen Anordnung der Fasern erklären lässt. Die Hauptrichtungen der Spalten (und Fasern) scheinen in sehr hohem Grade von den mechanischen Beanspruchungen des Knorpels, namentlich aber von den Spannungen beeinflusst zu sein, die der auf der Gelenkfläche lastende Druck und die Reibung bei den Bewegungen hervorrufen. Die letztere scheint sich jedoch erst in zweiter Reihe geltend zu machen; die vorherrschende Spaltrichtung steht nämlich sehr oft senkrecht auf der Bewegungsebene. Die mechanischen Anforderungen sind in vielen Gelenken äusserst komplicirt; die Erklärung der Einzelheiten in den Spaltrichtungen kann also ziemlich grosse Schwierigkeiten darbieten. Wo die Beanspruchungen aber etwas einfacher sind, geben die Befunde oft eine völlige Bestätigung der theoretischen Erwägungen und Schlüsse[1]).

Ich hoffe, nach Abschluss meiner Untersuchungen diese interessante Frage an anderer Stelle vollständiger behandeln und weitere Beweise für eine funktionelle Struktur des Gelenkknorpels geben zu können.

[1]) Eine sehr typische Anordnung der Spaltrichtungen finden wir im Kniegelenk und im Carpometacarpalgelenk des Daumens. Viele andere Beispiele könnten angeführt werden.

Die feineren Formenverhältnisse der Gelenkflächen werden am besten an Durchschnitten in verschiedenen Richtungen studirt. Da jeder Knochen nur eine beschränkte Anzahl solcher Schnitte geben kann und die individuellen Variationen ein Übertragen der an einem Gelenke gewonnenen Resultate auf andere Gelenke verbieten, kann man nach v. Meyers (87) Vorschlag Gipsabgüsse zu dieser Untersuchung anwenden. Diese sind zwar nicht absolut exakt, doch dürften sie für die meisten Zwecke jede billige Forderung erfüllen. — Am meisten belehrend sind natürlich diejenigen Schnitte, die entweder durch die Bewegungsachse, oder senkrecht auf dieselbe fallen.

Die Gelenkfläche des Humerus nähert sich in ihrer Form einer sogen. Rotationsfläche, die man sich durch die Drehung einer Linie (die Erzeugungslinie) um eine feste Achse enstanden denkt, wobei jeder Punkt der Linie einen zur Achse perpendikulären Kreisbogen bildet. — Die Abweichungen von diesem Typus sind jedoch nicht unbeträchtlich. Die erzeugende Linie hat an den verschiedenen Seiten des Körpers nicht dieselbe Form, und eine kleine Verschiebung derselben in der Richtung der Achse, wodurch eine mehr oder weniger unregelmässige Schraubenfläche entsteht, scheint auch oft vorzukommen. — Den grössten Bogenwerth der Fläche finden wir in der Mitte der Trochlea, wo er etwa 280° beträgt; am Capitul. humeri überschreitet der Bogen nur wenig 180°, und am lateralen Rande ist er noch kleiner.

Die Trochlea und das Capitulum humeri sind durch eine mehr oder weniger stark vorspringende Leiste von einander getrennt, die an der vordern Seite ziemlich gerade ist und der Bewegungsebene paralell verläuft, um an der untern Seite in einem dem Umfang des Radiuskopfes entsprechenden Bogen lateralwärts zu ziehen. Diese Leiste, oder richtiger die Furche an ihrer lateralen Seite, kann in ihrem vorderen Theile als eine natürliche Spurlinie für die Flexion-Extensionsbewegungen betrachtet werden. Ein Punkt an der lateralen Seite des Proc. coron., der in der Flexionslage der Höhe der Leiste entspricht, folgt derselben bei der Streckung ziemlich genau. Der hintere, bogenförmige Theil der Furche könnte, wenn stärker ausgesprochen, vielleicht als Spurlinie der Radiusrotation betrachtet werden.

Die übliche Angabe (Poirier, Sappey u. a.), dass die Rinne der Trochlea an der vordern Seite von unten schräg lateralwärts hinaufsteige und an der hintern in derselben Richtung, aber noch schräger laufe, trifft nur schlecht zu und beruht zum grössten Theile auf einer optischen Täuschung. Die schräge Richtung des medialen Trochlearandes an der vordern und der beiden Ränder an der hintern Seite verleitet das Auge, diese schräge Richtung der ganzen Trochlea zu geben.

Nimmt man von der lateralen Seite des Kronenfortsatzes so viel

weg, wie bei voller Flexion über die eben genannte Führungsleiste[1]) lateral hinausragt, so kann man nach Streckung des Gelenks längs der Schnittfläche eine lineäre Fortsetzung der Leiste bis zur halben Höhe der hintern Seite zeichnen. In der Beugelage wird jetzt die über diese Linie hinausragende Partie des Olecranon abgetragen und nach Streckung der Rest der Spurlinie bis an die Fossa olecrani gezeichnet. In ganz entsprechender Weise kann man, von dem vordern oder hintern Endpunkte des medialen Randes ausgehend, eine ähnliche Linie angeben und die entsprechende Randpartie des Gelenktheils der Ulna abtragen. Die zwei Linien, die man in solcher Weise bestimmt hat, laufen einander paralell und grenzen von zwei Randzonen eine mittlere Zone der Trochlea ab (Vgl. Taf. II)[2]).

Die Mittelzone scheint beim ersten Anblick eine regelmässige Rotationsfläche (oder schwach ansteigende Schraubenfläche) zu sein, deren erzeugende Kurve im mittleren Theil eine konkave (gegen die Achse konvexe) Bogenlinie bildet, seitlich aber mehr geradlinig oder sogar in einem (nach der Peripherie hin) schwach konvexen Bogen verläuft. Die Rotationsfläche liegt nicht symmetrisch zur Beugungsebene; der mediale Rand hat einen grösseren Radius als der laterale.

Studirt man die Achsenschnitte etwas näher, so findet man aber, dass die hintere und die vordere Seite der Mittelzone selten vollständig kongruent sind. Gewöhnlich ist die genannte seitliche Konvexität vorne viel mehr ausgesprochen, als an der hintern Seite. Der laterale Theil der Mittelzone kann dagegen hinten sogar etwas konkav sein, wodurch hier die Rinne der Trochlea etwas breiter erscheint. Der Übergang geschieht in der Regel sehr allmählich; es kann aber auch an der untern Seite der Trochlea eine scharfe Grenze zwischen der vordern und der hintern Partie bestehen[3]).

Die mediale Randzone ist an der untern Seite der Trochlea

---

[1]) Ist dieselbe weniger scharf ausgesprochen, so kann man die von einem entsprechenden Punkte des Process. coron. durchlaufene Bahn leicht auf die Trochlea zeichnen.

[2]) v. Meyer (86) will den vordern und hintern Abschnitt des Mittelstreifens vollständig kongruent haben und legt deswegen die Grenze zwischen demselben und dem äussern Seitenstreifen mehr medialwärts. Eine genaue Kongruenz wird man dessenungeachtet nur selten treffen; es scheint mir deswegen die obige leicht zu bestimmende Grenze zweckmässiger zu sein, wodurch die Mittelzone den um den ganzen Umfang der Rolle ziehenden Haupttheil umfasst, während die Randzonen dem nur an bestimmten Stellen des Umfangs vorkommenden Ergänzungsstreifen entsprechen.

[3]) Diese Grenze ist bei vielen Säugethieren (Carnivora, Halbaffen u. a.) sehr deutlich ausgesprochen; ebenso die später zu beschreibende accessorische Gelenkfläche an der lateralen Seitenwand der Fossa olecrani und die entsprechende Facette am Olecranon selbst. (Vgl. Taf. IV Fig. 20 A und 23 A.)

am breitesten, etwa 5—9 mm.; sie verschmälert sich allmählich nach oben, besonders an der hintern Seite, wo sie oft in der halben Höhe aufhört. Ihre Erzeugungslinie bildet eine direkte Fortsetzung der medialen konvexen Partie der Mittelzone. — Die laterale Randzone fängt erst an der untern Seite an, wo die Führungsleiste seitlich umbiegt, erreicht schnell ihre volle Breite (etwa 5—7 mm.) und geht oft an der lateralen Wand der Fossa olecrani in eine kleine, beinahe sagittal liegende, nur selten überknorpelte accessorische Gelenkfläche über. Die erzeugende Linie dieser Zone ist gewöhnlich ziemlich gerade und in der Regel in der Fortsetzung der lateralen Partie der Mittelzone belegen, kann sich aber auch scharf von dieser absetzen, indem sie mit der Achse einen grösseren Winkel bildet.

Die Gelenkfläche des Capitulum humeri kann annähernd als ein Segment einer Kugelfläche betrachtet werden. Nur die eine Halbkugel ist ausgebildet, und auch von dieser ist der laterale Pol schräg abgeschnitten, der mediale dagegen im Innern der Gelenkrolle ungefähr in der Ebene der Führungsleiste gelegen. — Vergleicht man aber einen durch die Achse laufenden Schnitt mit einem zu ihr winkelrechten, so findet man den Radius auf diesem nicht unwesentlich kleiner als auf jenem. — Der Bogen des vertikalen Schnittes zeigt auch öfter von oben nach unten wachsende Radien, wodurch die Profilkurve des Capitulum etwas an die der Femurkondylen erinnert. — Der mediale Abschnitt der radialen Gelenkfläche am Humerus bildet die obengenannte Leitfurche. Ihre Tiefe wechselt bei verschiedenen Individuen sehr; in ihrem hintern, bogenförmigen Theil ist sie oft ziemlich unregelmässig.

Die Ulna hat ebenfalls zwei an einander grenzende, aber vollständig von einander getrennte Gelenkflächen, eine humerale und eine radiale. Die für den Humerus bestimmte Gelenkfläche der Incisura semilunaris ist mit einem Theile eines negativen Abdruckes der Trochlea zu vergleichen, hat also auch eine Mittelzone und zwei Randzonen und entspricht einem Kreisbogen von beinahe 90°. Beim Erwachsenen findet man gewöhnlich (doch nicht immer) den Einkerbungen der Knochenränder entsprechende Defekte der Knorpelbedeckung, wodurch die Gelenkfläche vollständig in zwei Partien, eine untere, dem Proc. coronoideus angehörende und eine obere, etwas grössere am Olecranon, getheilt wird. Eine Knorpelbrücke vereinigt diese Flächen jedoch bisweilen mit einander. — Die Mittelzone der Gelenkfläche hat eine rundliche Firste und seitliche, mehr plane oder sogar etwas konkave Abdachungen. Die mediale Randzone, die durch die Einkerbung in zwei halbovale Flächen getheilt wird, zeigt sich an einem Achsenschnitte deutlich konkav. Der Olecranontheil der lateralen Randzone bildet eine breite, plane oder schwach konvexe Fläche, die entweder ohne sichtbare

Grenze in die Mittelzone übergeht, oder sich von dieser bisweilen scharf absetzt, wodurch eine neue Firste gebildet wird. Hin und wieder sieht man an dem lateralen Rande dieser Zone noch eine kleine, deutlich abgegrenzte, streifenförmige, beinahe sagittale Gelenkfläche, die in der letzten Phase der Streckung mit der obengenannten accessorischen Gelenkfläche an der Seitenwand der Fossa olecrani artikulirt. — Der untere Theil der lateralen Randzone bildet nur eine kleine dreieckige Facette hinter und oberhalb der Incisura radialis. Diese Facette gehört aber nicht demselben Rotationskörper wie die laterale Zone am Olecranontheil, ja streng genommen kaum der eigentlichen Gelenkfläche an. Wie v. Meyer (86) zeigt, hat sie in keiner Flexionslage des Gelenks einen Kontakt mit dem Humerus; erst bei Vollendung der Streckung stösst sie gegen eine besondere Fläche an der Humerusrolle. Es ist dieses der erwähnte, nach aussen gebogene hintere Theil der Leiste zwischen der Trochlea und dem Capitulum.

An der lateralen Seite des Proc. coronoid. liegt die kleine ovale Gelenkfläche für den Radius. Sie wird gewöhnlich als eine konkave Cylinderfläche beschrieben, da aber der Radius des untern Theils meist etwas kleiner als der des obern ist, wäre es richtiger, sie als einen Theil einer langgestreckten konkaven Kegelfläche zu betrachten, deren Achse mit der Rotationsachse des Unterarms zusammenfällt. Die Gelenkfläche entspricht einem Bogen von 60—80°.

Mit dem Humerus artikulirt die proximale Fläche des Radiuskopfes, oft aber auch ein schmaler Streifen der Seitenfläche, der an der lateralen Seite der Führungsleiste gleitet. Die Form der humeralen Gelenkfläche am Radius ist die eines Hohlkugelsegmentes, das an der, bei halber Supination, medialen Seite von einer halbmondförmigen, schwach konvexen Fläche umfasst wird. Das Centrum der Hohlkugel liegt in der Drehungsachse des Unterarms. Die halbmondförmige Fläche, die oft ohne scharfe Grenze in die Seitenfläche übergeht, gleitet bei den Bewegungen in der Leitfurche am Capitulum humeri. Der mediale Theil der Seitenfläche ist, gleich der entsprechenden Gelenkfläche an der Ulna, eine langgestreckte Kegelfläche, jedoch mit einem etwas kleineren Radius als diese.

Die Circumferentia articularis umfasst etwa den halben Radiuskopf; sie hat in ihrem mittleren Theil dieselbe Höhe wie die Incisura radialis, verjüngt sich aber nach vorne und hinten. Der laterale Theil der Seitenfläche ist abgerundet und hat gewöhnlich keinen Knorpelüberzug (oder nur am obern Rande). — Der Radiuskopf bildet übrigens in der Horizontalebene keine reine Kreisfläche, sondern er ist etwas oval; der grösste Durchmesser steht bei halber Supination gewöhnlich ziemlich in der Frontalebene.

Wo die überknorpelte Gelenkfläche der Trochlea mit nach oben konkaven Rändern am untern Ende der Fossa olecrani und der F. coronoidea aufhört, setzt die nur von dem Periost und der Synovialis bekleidete Oberfläche des Knochens noch eine Strecke in derselben Richtung fort. Ein Kontakt mit dem Gelenktheil der Ulna trifft aber nur an begrenzten Stellen und nur in den extremen Lagen des Gelenks ein.

An der lateralen Wand der Fossa olecrani finden wir sogut wie konstant eine kleine, glatte, oben schon erwähnte Knochenfläche, auf welcher das Periost verdickt ist und bisweilen ein faserknorpeliges Aussehen hat; nur selten scheint sich der Knorpel der Trochlea direkt auf diese Fläche fortzusetzen. Auf derselben gleitet die lateralste Facette des Olecranon in den letzten 10—20° der Extensionsbewegung.

An dem Boden der Fossa olecrani ist oft eine kleine, glatte Knochenfläche vorhanden, gegen welche der Schnabel des Olecranon bei vollendeter Streckung stösst; wenn dieselbe fehlt, findet sich gewöhnlich eine ähnliche Fläche an der medialen Wand der Fossa olecrani[1]). Eine gleitende Bewegung kommt hier jedoch nicht vor, nur ein plötzlicher Kontakt am Schluss der Extension. Seltener sah ich eine zusammenhängende, leicht doppelt S-förmig gekrümmte, seichte Furche von der einen Seitenwand der Fossa olecrani zu der andern ziehen, welche einen genauen Abdruck des freiens Randes des Olecranon bildete.

Auch am Boden der Fossa coronoidea findet man nicht besonders selten eine ähnliche kleine Fläche, auf welche der Kronenfortsatz bei extremer Beugung stösst. In der Fossa radialis sah ich dagegen keine deutlichen Zeichen eines solchen Kontaktes[2]).

Aus dem Gesagten geht ohne Weiteres hervor, dass eine volle Kongruenz zwischen den Gelenkflächen des menschlichen Ellenbogengelenks nicht besteht. Es ist aber dieses nicht als eine Unvollkommenheit des Gelenkes aufzufassen. Durch ein genaueres Anliegen der Gelenkflächen an einander würde nämlich einerseits eine grössere Friktion eintreten, wodurch die Bewegungen etwas erschwert wären, andererseits die Befeuchtung der Knorpel mittels der Synovialflüssigkeit weniger leicht und vollständig geschehen.

Die Inkongruenz der Trochlea und der Incisura in den verschiedenen Lagen des Gelenks besteht theils darin, dass die eine Fläche

[1]) Das letztere scheint mir besonders oft an kräftigen männlichen Armen der Fall zu sein; die Kontaktfläche in der Tiefe der Fossa fand ich etwas öfter an weiblichen Armen.

[2]) An der Leiste zwischen der Fossa coronoidea und der F. radialis sieht man konstant vertikale Bündel von glänzend weissen Sehnenfasern von dem Knorpelrande auf der Oberfläche des Knochens hinaufziehen. Ähnliche, aber weit schwächere Bündel kann man auch bisweilen in dem lateralen Theil der Fossa radialis und in der Fossa olecrani antreffen. Ihre funktionelle Bedeutung ist mir völlig unklar.

mehr oder weniger über den Rand der andern hinausragt, theils darin, dass die Flächen etwas von einander abgehoben werden, so dass zwischen ihnen eine klaffende Spalte entsteht. Das erstere ist eine Folge davon, dass die seitlichen Ergänzungszonen nicht überall dieselbe Breite haben, das letztere kommt davon her, dass die erzeugende Linie der Rotationsfläche nicht im ganzen Umfang der Fläche dieselbe Biegung hat.

In jeder Lage des Gelenks bleibt selbstverständlich ein Theil der Trochlea oberhalb des Proc. coronoideus oder des Olecranon (bei mittlerer Beugung an beiden Stellen) von der Ulna unbedeckt; ebenso besteht nie ein Kontakt zwischen der rauhen Querrinne der Incisur und der gegenüberliegenden Partie der Trochlea.

Bei rechtwinkeliger Flexion passen die fraglichen Gelenkflächen am besten auf einander; dabei ist nur der äusserste Streifen der lateralen Zone der Olecranongelenkfläche, die kleine dreieckige Fläche an der Ulna hinter und oberhalb der Incisura radial. und der hinterste Theil der Führungsleiste an der Humerusrolle unbedeckt. Bei voller Streckung sind die letztgenannten zwei Flächen mit einander in Berührung, und auch der genannte Streifen der Olecranonfläche steht mit der Humerusrolle in Kontakt. Dagegen ragt in dieser Lage die mediale Randzone der Incisur sowohl am Olecranon, wie auch unmittelbar unterhalb der Querfurche weit über den medialen Rand der Trochlea hinaus. — Bei voller Beugung liegt die ganze laterale Randzone der Incisur ohne Bedeckung; auch ragt dann ein grösserer Theil der medialen Randzone am Kronenfortsatz über den Rand der Trochlea hinaus, während dieser seinerseits den medialen Rand der Olecranonfläche etwas überragt.

Wegen der ungleichen Flächenkrümmung der Trochlea und der Incisura semilun. in ihren verschiedenen Partien kommt eine dichte, vollständige Anlehnung der entsprechenden Knorpelflächen nur ausnahmsweise vor. Es dürfte dieselbe am leichtesten bei rechtwinkliger Flexion eintreten können; auch in dieser Lage scheint jedoch ein bedeutender Druck nöthig zu sein, um eine volle Kongruenz hervorzurufen. Bei den Bewegungen werden die verschiedenen Partien abwechselnd etwas von einander abgehoben und einander wieder genähert. Die individuellen Variationen sind aber zu beträchlich, um bestimmte Gesetze für alle diese Änderungen in dem Anschlusse herleiten zu können. — Ziemlich konstant scheint mir nur das Verhalten der Gelenkflächen bei starker Beugung zu sein. Dabei sieht man die mediale Partie der zum Processus coronoid. gehörenden Gelenkfläche und zu gleicher Zeit den lateralen Theil der Olecranonfläche sich von den gegenüberliegenden Partien der Trochlea etwas abheben.

Was die Anlehnung des Radiuskopfes an das Capitul. humeri an-

betrifft, so muss zuerst hervorgehoben werden, das derselbe bei voller Streckung mit ungefähr einem Drittel seines Durchmessers oder mehr über den hinteren Rand des Capitulum hinausragt, sowie auch dass in jeder Lage ein kleiner lateralen Streifen der Fovea radii ohne Berührung mit der Gelenkfläche am Humerus ist. Von grösserem Interesse ist es, dass die verschiedene Krümmung des Capitulum in transversaler und sagittaler Richtung zur Folge hat, dass gewöhnlich nur ein querer, der Gelenkachse paralleller Streifen der Fovea dem Capitulum anliegt und der vordere und der hintere Randtheil von ihm abgehoben sind. Wenn wir uns aber der Strecklage nähern, wird der Krümmungsradius des Capitulum etwas grösser und folglich die Anlehnung der Gelenkflächen breiter. Der Kontakt und die Reibung dürfte also in der Beugelage etwas kleiner als in der beinahe gestreckten sein.

Die Berührung zwischen der Circumferentia articul. rad. und der Incis. radial. umfasst ebenfalls in der Regel nicht die ganze Fläche der letzteren; wegen der etwas stärkeren Krümmung der Mittelpartie der Circumferentia muss die Gelenkspalte vorne und hinten ein wenig klaffen. Es scheint jedoch diese Inkongruenz ohne weitere Bedeutung zu sein.

Wie v. Meyer (85) hervorhebt, passen, durch die querovale Gestalt des Radiuskopfes, die vordere und die hintere Partie der Circumferentia, die bei Pronation und Supination gegen die Incisur gekehrt sind, viel besser als ihre Mittelpartie in die Incisur hinein. — Der Winkel zwischen der obern und der seitlichen Gelenkfläche des Radiuskopfes soll nach v. Meyer kleiner als der Winkel zwischen den entsprechenden Flächen der Ulna und des Humerus sein. Es soll also der Radiuskopf niemals gleichzeitig eine vollständige Berührung mit diesen beiden Knochen haben können. Das letztere ist meiner Erfahrung nach nicht konstant. Auch scheint mir die Bedeutung, die Braune und Kyrklund (31) dieser Inkongruenz zuerkennen, dass nämlich bei feststehendem Humerus nur durch sie eine Drehung des Unterarmes möglich sei, aus einer unrichtigen Vorstellung der Form der Gelenkflächen hervorgegangen zu sein. Wenn die Achsen der Gelenkflächen mit der Rotationsachse zusammenfallen, und dies ist auch annähernd der Fall, so ist von mechanischem Gesichtspunkt ein solches Schlottern zum mindesten überflüssig.

Kap. V. Die Kapsel und die Bänder.

Die Kapsel des Ellenbogengelenks umfasst ausser den knorpelbedeckten Gelenkflächen auch einen verschieden breiten, nur von dem Periost und der Synovialmembran bekleideten Knochenstreifen. Die Umschlagsstelle der Synovialis liegt am Humerus etwa 2 cm oberhalb des Knorpelrandes, steigt aber, unter der Bildung einer mehr oder weniger deutlichen sagittalen Falte, etwas an der Leiste zwischen den Fossæ coronoidea und radialis herab. Seitlich von den Gruben tritt sie nahe an den Rand der Gelenkflächen heran. An der medialen Seitenfläche der Humerusrolle nähert sich die Umschlagslinie nach unten mehr und mehr der Wurzel des Epicondylus, um nach hinten wieder nahe an den Knorpelrand zu ziehen. Die Seitenwände der Fossa olecrani gehören, ebenso wie die untere Hälfte oder etwas mehr vom Boden der Grube, der Synovialhöhle an. In der Mitte tritt die Synovialis oft etwas weiter als an den Seiten, wo sie sich, bei gewissen Stellungen des Gelenks, mit den beweglichen Fettklumpen etwas herausstülpt, herab. An der lateralen Seite folgt die Ansatzlinie der Synovialis dem Knorpelrande in einer Entfernung von 1—3 mm, bildet also an der hintern Grenze des Capit. hum. einen rechten Winkel, wodurch eine besonders in der Flexionslage des Gelenkes ziemlich deutliche Synovialfalte entsteht.

Die Spitze des Processus coronoideus ragt gewöhnlich in einer Höhe von etwa $^1/_2$ cm frei in die Gelenkhöhle hinein. An den beiden Seiten der Incisura semilunaris folgt die Umschlagslinie der Synovialis ziemlich nahe den Rändern der Gelenkfläche, geht aber an der lateralen Seite gewöhnlich etwas (2—3 mm) mehr nach aussen vom Knorpelrande. Die Einbuchtungen an den Seitenrändern der Incisur liegen auch innerhalb der Kapsel. Ein etwa 2 mm breiter Streifen der obern Fläche des Olecranon ist auch von der Synovialmembran bekleidet; in der Mitte nähert sich die Umschlagslinie oft etwas dem freien Rande. An der Incisura radialis befestigt sich die Kapsel vorne und hinten unmittelbar an dem Knorpelrande; unterhalb dem untern Rande wird oft eine kleine Tasche gebildet. — Am Radiushalse liegt die Umschlagsstelle der Gelenkmembran ringsum etwa $1^1/_2$ cm unterhalb dem Rande der Fovea.

Wo die Kapsel bei den typischen Bewegungen des Gelenks auf eine glatte Knorpel- oder Knochenfläche gleitet, da zeigt sich ihre Innenfläche dem unbewaffneten Auge eben und glatt. Wo sie aber eine Spalte zwischen den Knochen bedeckt oder einen Winkel zwischen ihnen überkreuzt, finden wir einen mehr oder weniger weit hineinragenden Saum, eine Duplikatur der Gelenkmembran, die von lockerem, bisweilen sehr gefässreichem Fett- oder Bindegewebe erfüllt ist. — Diese Bildungen lassen sich besonders gut an Gelenken zu studiren, die in Formalin gehärtet sind, in dem sie ihre natürliche Lage auch nach der Öffnung des Gelenks behalten. Im nicht gehärteten Gelenk legen sie sich wegen ihrer losen Konsistenz der Wand an — und entziehen sich so der Aufmerksamkeit. Ihre Form und Lage wird auch nur selten in der Litteratur erwähnt.

Entsprechend der Spalte zwischen dem Radiuskopf und dem Humerus finden wir eine dünne, von der Innenseite der Kapsel hineinragende, 1—3 mm breite Falte, die einen nur durch die Ulna unterbrochenen Ring bildet. Ihr Querschnitt ist schmal dreieckig; der freie Rand ist zerschlitzt und das ganze Aussehen am gehärteten Gelenk erinnert sehr an eine Meniscusbildung. Längs dem lateralen Rande der Incisura semilun. läuft eine ähnliche, vertikale Falte herab, die von dem Winkel zwischen dem Hinterrande des Capitulum hum. und dem lateralen Rande der Trochlea nach unten zieht, mit der vorigen Falte rechtwinklig zusammentrifft und sich bisweilen eine kurze Strecke nach unten, in die Spalte zwischen der Ulna und dem Radius, fortsetzt. An der Stelle ihres Zusammentrittes bilden diese Falten einen stärkeren Synovialfortsatz, der die laterale Einkerbung der Incisur genau ausfüllt[1]).

Eine Falte derselben Art ist längs dem medialen Rande der Incis. semilun. zu sehen; sie bildet an der Einbuchtung der Incisur einen dieselbe ausfüllenden medialen Synovialfortsatz, der etwas kleiner als der gegenüberliegende laterale ist. Oberhalb dem Kronenfortsatz und

[1]) Ein englischer Autor, CORNER (59) betrachtet diese Falten als den Ligg. cruciata und den Meniscen des Kniegelenks entsprechende Bildungen. Unzweifelhaft sind dieselben ontogenetisch aus einem ganz gleichwerthigem Gewebe, aus der »intermediären Schicht« des Gelenkes, hervorgegangen. CORNER geht aber in seiner Homologisirung viel weiter und stellt die vertikale Falte dem Lig. cruciatum, die quere Falte dem medialen Meniscus und den Synovialfortsatz in der lateralen Einbuchtung der Incisur dem lateralen Meniscus als wahre Homologa gegenüber. Die wenig umfassenden vergleichend anatomischen Untersuchungen, über die er berichtet, geben keine stichhaltigen Beweise für seine Lehre; auch konnte ich weder durch komparative, noch durch embryologische Untersuchungen etwas finden, das diese Ansicht zu stützen vermöchte, und ich kann sie daher nur als die Frucht einer rein teoretischen Konstruktion betrachten.

dem Olecranon finden wir nicht selten kleine, halbmondförmige Querfalten, welche die Spitzen dieser Fortsätze überdecken. Die über dem Kronenfortsatz belegene geht in die Ringfalte zwischen dem Radiuskopf und dem Humerus über und sendet oft einen kleinen, freien Lappen in den vorderen Winkel zwischen der Ulna und dem Radius hinein. Oberhalb der Trochlea tritt auf der Vorderseite des Humerus, der Knochenfläche genau anliegend, eine von der medialen Seite der Kapselwand kommmende, zungenähnliche, weiche Bindgewebsmasse bis zur Mitte der Vorderseite der Trochlea oder etwas weiter herab. Sehr oft findet man, dass dieselbe eine frontale Falte der Synovialmembran mit eingeschlossenem Fett und Bindegewebe bildet; ihr unterer Rand ist unmittelbar an der Knorpelgrenze befestigt; hinter dem oberen, dicht anliegenden, gewöhnlich aber freien Rande kommen wir in eine Tasche der Synovialhöhle hinein. Entsprechend dieser Falte scheint die Knorpelgrenze etwas nach unten verrückt, ganz als ob sich die Falte dem Wachstum des Knorpels in dieser Richtung widersetzt hätte. — Oberhalb dem hinterem Rande der Trochlea und auch in der Fossa radialis habe ich Andeutungen ähnlicher Bildungen gesehen, jedoch nie in der Form einer wirklichen, freien Falte.

Die vordere Wand der Kapsel ist vor der Fossa coronoidea (weniger vor der Fossa radialis) mit reichlichen, lockeren, stark vascularisirten Synovialzotten besetzt. Am obern Theil der Fossa olecrani ist die Kapselwand an den beiden Seiten sehr schlaff, um bei den Bewegungen die hier liegenden Fettpolster in die Grube hinein und dann wieder aus ihr heraus gleiten zu lassen.

Was die Bedeutung dieser Zotten- und Faltenbildungen anbetrifft, so scheint mir alles darauf hinzudeuten, dass sie hauptsächlich als passives Füllmaterial, gewissermassen als Zeugnisse des Horror vacui der Natur zu betrachten sind. Dass sie durch ihren Gefässreichthum für die Transsudation und die Resorption nicht unwichtig sind, ist ja einleuchtend. Auch dürften sie zur Milderung der Stösse und Erschütterungen in den Gelenken etwas beitragen können; die grosse Bedeutung, die ihnen Lesshaft (81) in dieser Hinsicht zuschreibt, scheint mir aber etwas übertrieben zu sein und wirklicher Beweise zu bedürfen.

Die Kapsel zeigt an verschiedenen Stellen ihrer Aussenseite deutliche Verstärkungen. Wie viel man davon zu der eigentlichen Kapselwand zu rechnen hat und wie viel genetisch zu den umgebenden Fascienbildungen, Muskelaponeurosen u. dgl. gehört, ist nicht leicht zu bestimmen. In der folgenden Beschreibung habe ich alles, was bei der

blossen Dissektion nicht einen unzweifelhaften und direkten Zusammenhang mit anderen Bildungen zeigte, zur Kapsel gerechnet. Auf die Wahrscheinlichkeit eines anderweitigen Ursprungs verschiedener dieser Fasern werde ich aber gelegentlich hindeuten.

Die vordere Seite der Kapsel ist überwiegend von vertikalen und schrägen Faserzügen verstärkt. Von einer etwa 1 cm hohen Fläche des Humerus unmittelbar oberhalb der vorderen Gelenkgruben ziehen platte, ziemlich starke, deutlich von einander getrennte und in den Lücken lockeres Fettgewebe enthaltende Bündel gerade nach unten. Etwa an der Mitte der vordern Kapselwand fliessen diese Bündel mit einander zusammen und verweben sich mit den übrigen Elementen der Kapsel zu einer ziemlich homogenen, starken Membran, die am Proc. coronoid. inserirt und in das Lig. annulare übergeht. Von der Gegend oberhalb des medialen Epicondylus ziehen breite, aber dünne Faserzüge schräg lateralwärts nach unten, um theils in die oberflächliche Schicht des Lig. annulare überzugehen, theils mit der Ursprungssehne des M. ext. c. rad. brev. in intime Verbindung zu treten. Von der Gegend medial vom Brachioradialis und dem Ext. carpi rad. long. laufen oft dünne, oberflächlichere, die vorigen kreuzende Fasern medialwärts nach unten, um in der Kapselwand etwas oberhalb des Proc. coronoideus zu verschwinden. Dem M. brachialis gehört dagegen ein feines, glänzendes Sehnenband an, das vor dem Capit. humeri ziemlich intim mit der Kapsel zusammenhängt und dann, von derselben frei, bis ungefähr zur Mitte der Vorderfläche des Proc. coronoideus zieht. Es ist dies die Insertionssehne für einige der untern lateralen Brachialisfasern. Unterhalb der Kapselinsertion wird der Proc. coronoid. sehr häufig von einigen feinen, glänzenden, transversalen Fasern gekreuzt. Diese sind gewöhnlich ziemlich schwach und haben nur wenig die Aufmerksamkeit auf sich gezogen [1]). Sie sind aber insofern sehr interessant, als sie das Homologon des bei den Thieren so oft vorkommenden starken Lig. epitrochleo-radiale sind. Nicht selten kann man sie auch beim Menschen bis zum medialen Epicondylus oder zur Kapsel vor dem Radiuskopf verfolgen. Sie sind in der Regel durch sehr lockeres Gewebe von dem Kronenfortsatz geschieden und werden bisweilen bei starken Pronations- und Supinationsbewegungen des Radius gespannt. — Hin und wieder ist das Bändchen intim mit der untern Fläche des M. brachialis vereinigt, und es scheint sogar einigen Fasern desselben zur Insertion zu dienen.

An der dorsalen Seite des Gelenks ist die untere Hälfte der Fossa

[1]) Sappey giebt eine im Ganzen richtige Beschreibung derselben, und im Handatlas von W. Spalteholz, Fig. 232, sind sie wiedergegeben, ohne in dem Text irgendwelche Berücksichtigung erfahren zu haben.

olecrani von einer mässig starken Membran überbrückt, deren nicht sehr deutliche Faserzüge theils von der hintern Seite des einen Epicondylus quer zum andern hinüberziehen, theils, von diesen entspringend, sich schräg nach unten, zu der Spitze und den Seitenrändern des Olecranon, begeben. Nicht selten sind diese Fasern auch in der Form eines Y angeordnet, dessen unterer Schenkel an der Olecranonspitze inserirt. Von der obern Ecke der Fossa kommen aus der Tiefe stärkere, zerstreute, vertikale Bandfasern, die theils an der tiefen Fläche des transversalen Bandes inseriren, theils sich zur Spitze des Olecranon fortsetzen. Zwischen diesen Fasern und seitwärts von denselben liegt ein reichliches, lockeres, fettgefülltes Bindegewebe.

Die mediale Kapselwand wird durch das Lig. collaterale ulnare verstärkt. Dasselbe ist in seinem hinteren Theil ziemlich stark und bildet bisweilen ein gut abgegrenztes Band, das von der hintern Fläche des innern Epicondylus zum Seitenrande der hintern Hälfte der Incisura semilunaris verläuft und dem Lig. epitrochleoanconæum (Ligament rhomboidal, Cuenod) der Thiere entspricht. Nach vorne läuft das stärkste der Hilfsbänder des Ellenbogengelenks zur medialen Kante des Kronenfortsatzes, längs welcher es sich eine Strecke nach unten fortsetzen kann. — Der mittlere Theil ist viel dünner und zeigt nur zerstreute, divergirende Fasern, die theils am Rande der Incisur, theils an einem Bande, das den kleinen Ausschnitt der Incisur überbrückt, inseriren. Dieses Band (Lig. Cooperi) ist platt, glänzend und mit seinem distalen Ende an der medialen Seite des Proc. coron. und bisweilen auch am vordern Theil des Lig. coll. ulnare befestigt. Zwischen ihm und dem Rande der Incisur ist eine Lücke für Zweige der Art. recurr. uln. post., durch welche Lücke bei den Bewegungen ein kleiner Fettklumpen ein- und austreten kann.

An der lateralen Seite ist die Kapsel viel schwächer. Der proximale Theil, der von den untersten Fasern des Triceps und den obern des Anconæus bedeckt wird, zeigt nur undeutlich einen radiären Verlauf der Fasern zum Rande der Incisura semilunaris. Unten geht vom Epicondylus ein starkes Lig. collaterale radiale hinab, um sich alsbald in zwei divergirende Schenkel zu theilen, die den Radiuskopf umfassen und an der Ulna inseriren.

Der vordere Schenkel befestigt sich an dem lateralen Rande des Kronenfortsatzes, der hintere an der kleinen Crista am hintern Ende der Incisura radialis; sie lassen sich von den übrigen Elementen des Lig. annulare nicht trennen. Dem untern Schenkel schliessen sich auch einige starke, oberflächlichere Fasern an, die etwas weiter nach unten, zur Crista supinatoria, verlaufen und mit dem ulnaren Ursprunge des Supinator verwachsen sind.

Bisweilen sieht man an der lateralen Kapselwand einige dünne, glänzende Verstärkungsfasern vom obern Theile des Seitenrandes der Incisur, ungefähr wie das Lig. Cooperi der medialen Kapselwand, nach unten vorne, zur Mitte des hintern Schenkels des Lig. collat. rad., ziehen. Wenn man an der Ursprungssehne des Supinator zieht, werden diese Fasern gespannt; vielleicht sind sie auch durch den aktiven Zug dieses Muskels an der Kapsel entstanden.

In dem Lig. annulare sind die wenigsten Fasern wirkliche Ringfasern. Das Band wird hauptsächlich von den ebengenannten zwei starken Schenkeln des Lig. collat. radiale gebildet, denen sich einerseits die aus der Gegend des Epicond. medialis kommenden, schrägen und transversalen Faserzüge der vordern Kapselwand, andererseits die epicondyläre Ursprungssehne des Supinator brevis anschliessen. Sämmtliche diese Elemente verweben sich äusserst intim und werden noch durch bogenförmige Fasern mit einander verbunden. Die letzteren können nur selten um den Radius in seinem ganzen Umfang verfolgt werden. Die stärkeren Faserzüge des Lig. annulare gehen nur hinten und an der vordern medialen Seite an den Radiushals hinab, an der vordern lateralen bleiben sie an der Seitenfläche des Kopfes liegen; nur relativ schwache Fasern umgeben hier den Hals. Für den Mechanismus der Luxationen ist diese geringere Resistenz der Kapsel an der lateralen Seite nicht unwichtig.

Funktionell können auch die entfernter liegende Chorda obliqua und Membrana interossea zu den Bändern des Ellenbogengelenks gerechnet werden.

Die Chorda obliqua ist eine sehr wechselnde Bildung. Nicht selten fehlt sie ganz, doch ist sie dann bisweilen durch einen dem Flex. poll. longus oder dem Flex. digit. profundus angehörenden kleinen Muskelbauch ersetzt. Sie kann eine dünne, bindegewebige Membran, die von den Muskelfascien und dem perivasculären Bindegewebe kaum zu trennen ist, oder ein gut differentirtes, glänzendes Ligament sein. In ihrer typischen Form entspringt die Chorda obliqua von der lateralen Seite der Tuberositas ulnæ und befestigt sich am Radius gerade unterhalb der Tuberosität, ½—2 cm. von derselben entfernt. Am Ursprung ist sie oft nur bis an die vordere laterale Kante des Knochens unmittelbar neben der Insertion des Brachialis, dessen Fasern auch in sie übergehen, zu verfolgen. Bisweilen sah ich sie auf der vorderen Fläche des Knochens, zwischen der Hauptsehne des Brachialis und seiner oberhalb derselben belegenen, muskulösen Insertion, eine Strecke nach oben und medialwärts verlaufen, um sich dann allmählich zu verlieren. Ein paar Mal konnte ich auch scheinbar dem Ligament angehörende Fasern an der medialen Seite der Brachialisinsertion, zwischen dieser

und dem Pron. teres, bis zum innern Epicondylus verfolgen. — Über die ursprüngliche Natur der Chorda obliqua lässt sich schwer ein bestimmtes Urtheil fällen. Die embryologischen Untersuchungen gaben mir hierfür keinen festen Ausgangspunkt, und ebenso wenig thaten es die vergleichend anatomischen. Die Ansicht Fawcetts (61) dass sie einen degenerirten, abgetrennten Theil des normalen Ursprunges des Fl. poll. longus von dem Kronenfortsatz bildet, lässt sich wohl nicht unbedingt zurückweisen, bewiesen ist sie aber keineswegs.

Die Chorda obliqua hat vor allem die Aufgabe, die Entfernung des Radius von der Ulna zu verhindern. Wie ich schon hervorgehoben habe, wirkt ja der Zug des Biceps bei der Beugestellung des Gelenks in dieser Richtung mit grosser Kraft. Für den genannten Zweck hat das Band eine sehr günstige Anordnung. Seine zum Radius schräge Richtung bewirkt, dass seine Spannung bei der Kontraktion des Biceps, durch die in der Längsachse des Radius verlaufende Komponente, den Kopf dieses Knochens fester an das Capitul. hum. drückt, was natürlich für die sichere Lage der Knochen im Gelenk sehr förderlich ist. Durch seine Anheftung an den Radius in der Nähe der Rotationsachse, die ja den Knochen nur wenig weiter nach unten verlässt, hindert es möglichst wenig die Drehungsbewegungen des Radius, und doch kann es gleichwohl immer ziemlich dieselbe Spannung haben.

Die Membrana interossea kann sich aus ähnlichen Gründen nicht an das obere Drittel des Radius, wo die Rotationsachse im Knochens selbst liegt, anheften, sofern sie die Drehungen nicht dadurch so gut wie vollständig hemmen soll. Ihre Insertion am Radius fängt auch erst etwas unterhalb der Anheftung der Chorda obliqua, gerade da, wo die Achse den Knochen verlässt, an. Ihre Faserrichtung ist überwiegend vom Radius zur Ulna hinabsteigend. An ihrer dorsalen Seite finden wir aber in dem obern Theil so gut wie konstant ein plattes, glänzendes Band, das in entgegengesetzter Richtung, von der Ulna zum Radius, hinabgeht.

Das sehr häufige Vorkommen ähnlicher stärkerer Faserzüge bei den Säugethieren (s. u.) machte mich zuerst auf diese Bildung aufmerksam. In den anatomischen Handbüchern fand ich sie nur in allgemeinen Worten erwähnt; Lamont (78) hat sie aber bei den Punjabiten stark entwickelt gesehen, und er erwähnt auch ihr gelegentliches Vorkommen bei der weissen Rasse.

Das fragliche Sehnenband liegt am untern Rande des Supinator, etwas oberflächlicher als sonst das Zwischenknochenband und bisweilen ziemlich frei von demselben; es strahlt auch etwas auf die Hinterflächen der Unterarmknochen aus. Die Richtung ist der Chorda obliqua annähernd paralell; auch dürfte die physiologische Bedeutung dieselbe

sein. Nicht selten entspringen von diesem Bande Fasern des M. abductor pollicis, ohne dass es jedoch mit diesem Muskel in einem genetischen Zusammenhang zu stehen scheint. Seine Stärke wechselt nicht wenig, scheint aber nicht von der Entwicklung der Chorda abhängig zu sein. Die mittlere Breite beträgt vielleicht 4 mm, und an den Insertionen ist es gewöhnlich noch breiter. Auch kann es doppelt vorhanden sein. Nur in etwa einem Zehntel der untersuchten Gelenke vermisste ich es; bei Embryonen fehlt es auch nur selten.

Kap. VI. Die umgebenden Weichtheile.

Das Ellenbogengelenk ist allseitig von einer Schicht von Muskeln und Muskelsehnen bedeckt. Nur hinter dem medialen Epicondylus ermangelt gewöhnlich eine kleine Partie der Kapsel der Muskelbedeckung. An der vordern Seite ist diese Schicht sehr dick; hinten, namentlich aber an den Seiten, ist sie ziemlich dünn.

Auf der vordern Kapselwand liegt der M. brachialis und lateral neben ihm die beiden Mm. extensores carpi radiales. Der Brachialis ist an seiner tiefen Fläche bis auf von einem feinen, medialwärts schräg hinabziehenden Sehnenstreifen, der schon erwähnt wurde und an dem einige der untersten lateralen Muskelfasern inseriren, muskulös. Die vordere Fläche des Muskels ist an ihrem untern Theil von einem starken Aponeurosenblatt bedeckt, das am lateralen Viertel des Muskels nach hinten erst sagittal und dann medialwärts umbiegt, selten aber die hintere Fläche des Muskels erreicht. Dass dem Brachialis angehörende Muskel- oder Sehnenfasern an der Kapsel inseriren, oder dass solche sogar, wie Schüller (89) u. a. behaupten, von ihr entspringen, habe ich nie gesehen. Der obere Theil der Kapselwand und ihre unterste Partie vor und unmittelbar oberhalb der Spitze des Kronenforsatzes sind sehr locker mit der anliegenden Fläche des Muskels vereinigt. In der Mitte dagegen heftet sich das kurzfaserige Perimysium des Brachialis, namentlich vor dem Capitulum humeri und vor dem medialen Rande der Trochlea der Gelenkkapsel, dicht an. Die Muskelfasern sind solchergestalt der Kapsel ziemlich fest angeklebt, setzen aber alle ihren Weg bis zur Knocheninsertion fort. Immerhin muss durch diese Anordnung die mittlere Partie der vordern Wand bei der Beugung des Gelenkes dem Muskel nach oben folgen, wodurch eine Einklemmung derselben zwischen dem Kronenfortsatz, bezw. dem Radiuskopf, und dem Humerus verhütet wird.

In dem Ursprunge des M. brachialis von der vordern Fläche des Humerus habe ich konstant eine kleine intramuskuläre Aponeurose gefunden, die von der oben erwähnten, vor dem Sept. intermusc. mediale belegenen feinen Leiste herabsteigt und an beiden Seiten Muskelfasern zum Ursprung dient.

Da der anomale hohe Kopf des Pronator teres eben von derselben Leiste (bezw. dem Proc. supracond.) entspringt, liesse es sich leicht denken, dass der von dieser Sehne und medialwärts von derselben vom Knochen entspringende Theil des Brachialis mit dem Pronator teres einen näheren genetischen Zusammenhang hat. Dafür liesse sich Verschiedenes anführen, vor allem aber das Verhalten dieser Muskeln bei den Säugethieren, wo der Pronator oft einen hohen Ursprung hat und der relativ schwache Brachialis noch öfter nur auf die laterale Hälfte des Humerusschaftes beschränkt ist. Bei vier mit einem Process. supracond. versehenen Armen die ich in der letzten Zeit zu untersuchen Gelegenheit hatte (die aber nicht in die Statistik in Tab. 1 aufgenommen sind), fehlte an zweien die genannte kleine Aponeurose. Die Innervation dieser Muskeln von zwei verschiedenen Nerven (Musculocutaneus und Medianus) lässt sich hier kaum als Gegenbeweis anführen, da die häufige Kommunikation dieser Nerven mit einander auf eine sehr unregelmässige Vertheilung ihrer Fasern während des Verlaufes durch den Plexus deutet.

Die Bicepssehne liegt im obern Theile der Cubitalregion, ziemlich gerade vor dem Brachialis, weicht aber nach unten etwas lateralwärts ab, um an der Tuberositas radii, durch einen grossen Schleimbeutel von ihr getrennt, zu inseriren. Der Lacertus fibrosus geht (in der Strecklage) etwas oberhalb der Gelenkspalte von der Hauptsehne ab[1]).

Die fleischige, tiefe Seite des Ext. c. r. long. liegt ziemlich locker auf der Kapsel und lässt vor dem medialen Theile des Radiuskopfes oft eine kleine Partie derselben zwischen sich und dem Brachialis ohne Muskelbedeckung. Der Ext. carpi rad. brevis entspringt gewöhnlich mit einer breiten Sehne, die sich an der untern Fläche und dem medialen Rande des Muskels ziemlich weit nach unten fortsetzt. An dem Rand derselben befestigen sich einige der früher erwähnten schrägen, oberflächlichen Fazerzüge aus der Gegend oberhalb des med. Epicondylus; auch sonst adhärirt der Muskel ziemlich fest an der Kapsel, aber ohne, dass man von einem kapsulären Ursprunge desselben sprechen kann. In der Flexionsstellung des Gelenks kann man gewöhnlich durch Zug an dem Muskel die vordere Kapselwand in eine schräge Falte aufheben und sie auch etwas über den Radiuskopf her-

[1]) Der Lacertus fibrosus geht von dem medialen Rande und der Vorderfläche der Hauptsehne ab. An seiner tiefen Seite sehen wir nicht selten einige starke Sehnenfasern chräg lateralwärts nach unten ziehen, um sich der Hauptsehne anzuschliessen; dieselben sind wahrscheinlich als eine zweite, und zwar als die ursprüngliche Insertion derjenigen Muskelfasern aufzufassen, die vorwiegend auf den Lacertus fibrosus wirken. In der Strecklage des Gelenks sind die genannten Sehnenfasern gespannt und der Lacertus relativ schlaff; bei gebeugtem Gelenk sind umgekehrt die ersteren schlaff und der Lacertus fibrosus gespannt. Dass im letzteren Fall ein Theil von dem auf den Radius wirkenden Zug auf die ulnare Partie des Unterarms übertragen wird, ist klar, und dass dieses gerade in der Lage eintrifft, wo der Zug des Biceps die Unterarmknochen am stärksten von einander zu ziehen sucht, kann natürlich nur vortheilhaft sein.

unterziehen. In dieser Weise dürfte der Muskel auch im Leben einer Einklemmung der Kapsel bei der Flexion vorbeugen helfen. Weiter nach unten treten gewöhnlich schwache, aber doch deutliche Faserzüge von dem Bindegewebe an der lateralen Seite des Brachialisansatzes, an beiden Seiten der Bicepssehne vorbei, zum medialen Rande der Sehne des Ext. c. rad. br. herab; diese Faserzüge hängen mit der Wand der Bicepsbursa intim zusammen, bedecken einen Theil der Vorderfläche des Supinator und bilden oft mit der Sehne des Ext. c. rad. br. einen nach oben konkaven Bogen, unter welchem der Ram. profundus n. radial. mit den ihn begleitenden Gefässen verläuft. Der laterale Theil der tiefen Fläche des letztgenannten Muskels liegt auf der Kapsel und dem Supinator mehr locker. Ganz oben unter dem Ursprunge sieht man hin und wieder einen kleinen Schleimbeutel. Die laterale Seite der Kapsel bedeckt zunächst der M. supinator, der vom Ram. prof. n. rad. in eine tiefe und eine oberflächliche Portion getheilt wird; oben und unten fliessen diese Portionen vollständig mit einander zusammen. Die tiefere Portion entspringt hauptsächlich von der Crista supinatoris der Ulna und geht theils schräg nach vorne-unten, theils oberhalb der Bicepsinsertion in mehr querer Richtung. Die letztgenannten Fasern machen eine ganze Windung (in der Pronationslage sogar noch mehr als eine Windung) um den Radiushals. Ein Theil derselben bedeckt den untersten schlaffen Theil der Kapsel und inserirt bisweilen am untern Rande des Lig. annulare (Musc. tensor lig. annul. Gruber). Im letzteren Falle können sie natürlich nicht auf den Radius supinirend wirken, dagegen aber das Lig. annul. fixiren und spannen wo durch sie zur genaueren Präcision der Rotationsbewegungen beitragen[1]). Die oberflächliche Schicht des Muskels entspringt mit einer starken Sehne vom lateralen Epicondylus und dem Lig. collat. rad., aber auch von der Crista supinat. Aponeurotische Fasern bedecken namentlich ihren hintern Theil. Die epicondyläre Ursprungssehne ist äusserst intim mit der unterliegenden Kapsel und den Ligamenten vereinigt, und eine Ablösung derselben von einander ist nicht möglich.

Der Supinator wird von den oberflächlichen Epicondylenmuskeln lateralwärts vollständig verdeckt. Nach hinten (lateral) von der Sehne des Ext. carpi rad. brev. und von ihr theilweise entspringend, liegt der M. ext. dig. comm. mit seiner nur ganz oben sehnigen, sonst fleischigen tiefen Seite auf dem Supinator. Hinter ihm treffen wir eine starke Sehnenbildung, die dem Ext. dig. V und Ext. c. uln. angehört

[1]) Bei einer Leiche, wo das Lig. annul. sehr schwach und schlaff war und leicht über den Radiuskopf hinauf rutschte, war dieser M. tens. lig. ann. sehr gut entwickelt und hätte allem Anschein nach das Ringband wieder über den Kopf herunterziehen können.

und mit der oberflächlichen Supinatoraponeurose intim verwachsen ist. Nur ganz oben am Epicondylus, wo wir bisweilen einen kleinen Schleimbeutel finden, kann sie etwas leichter von der Unterlage abgelöst werden. Die Oberfläche der genannten Muskeln ist von der hier sehr festen Unterarmsfascie, von der sie theilweise auch entspringen, bedeckt.

Hinter (oberhalb) dem Ext. c. ulnar. ist die Gelenkkapsel von dem Anconæus bedeckt. Sein vorderer unterer, stark sehniger Rand liegt auf der Kapsel relativ locker und kann oben am Ursprunge auch einen Schleimbeutel unter sich haben; der obere, dünnere Theil, der ohne Grenze in den tiefen Tricepskopf übergeht, haftet dagegen sehr fest an der hier sehr dünnen Kapselwand. Der Anconæus wird von der in die Unterarmsfascie ausstrahlenden Aponeurose des äussern Tricepskopfes bedeckt; an der tiefern Fläche dieser Aponeurose, nahe an ihrem Ansatze an der Ulna, inseriren gewöhnlich einige Fasern des Anconæus.

Der Triceps bedeckt die hintere Kapselwand vollständig. Er ist an seiner tiefen Fläche fleischig; nur unten am Ansatz sieht man kurze Sehnenfasern. Von dem obern Theil der Kapsel trennt ihn lockeres Fettgewebe; auch ganz unten, an der Insertion am Olecranon, liegt er auf der Kapselwand relativ frei. An ihrer mittleren Partie haftet er dagegen ziemlich fest an. Die tiefsten seiner Fasern, die alle an der Ulna endigen, namentlich aber die nach den Seiten hin belegenen, werden von dem hier sehr starken, kurzfaserigen Perimysium seitlich an die Kapsel angelöthet, ganz wie oben vom Brachialis beschrieben wurde und wie es auch mit dem proximalen Theile des Anconæus der Fall ist.

Viele Autoren (Martin (84), Schüller (89) u. a.) sprechen von einen konstant oder wenigstens sehr häufig vorkommenden kleinen Kopf des Triceps, dem M. subanconæus, der direkt an der Kapselwand inseriren soll[1]). Ich habe mich von seinem Vorhandensein nie überzeugen können. Wohl sind oft einige der tiefsten Fasern des Triceps durch kleine Muskelgefässe von seinem Haupttheil getrennt, wohl haften gewisse seiner Fasern der Kapsel sehr intim an, sodass sie beim ersten Anblick an ihr zu inseriren scheinen, eine genauere Untersuchung zeigte aber immer, dass sie fleischig oder sehnig an der Oberfläche der Kapsel bis zum Ansatz an das Olecranon verfolgt werden können. Wenn eine wirkliche Insertion und Endigung der Muskelfasern in der Kapselwand überhaupt vorkommt, muss ich dieses jedenfalls als eine seltene Ausnahme betrachten. Auch bei den Thieren habe ich eine solche Insertion nicht gesehen.

[1]) Schon vor langer Zeit stellte Kulaevsky (77) das Vorkommen der Mm. subcruralis und Subanconæus als normale Bildungen in Abrede; jetzt scheint ihre Existenz kaum bezweifelt zu werden.

Durch die seitliche Anlöthung der Muskelfasern an die Kapselwand wird der Einklemmung der letzteren bei den Bewegungen des Gelenks ebensogut vorgebeugt, als wenn eine bestimmte Portion des Muskels an einer begrenzten Stelle der Kapsel inserirte und dieselbe bei ihrer Kontraktion in eine Falte aufhöbe, wie man ja die Wirkung eines Kapselspanners gewöhnlich beschreibt. Ja, es scheint mir sogar, dass die Spannung, die Zerrung der Kapsel, die aus einer Anordnung dieser Art folgen müsste, zweckwidrig und schädlich wäre, und ich möchte sogar bezweifeln, dass Kapselspanner im eigentlichen Sinne des Wortes überhaupt jemals zu finden seien. Dagegen ist es natürlich, dass eine an der Kapsel seitlich angelöthete Muskelfaser bei ihrer Verkürzung wohl die Kapselwand etwas mit sich zieht, sie aber eher runzelt, als spannt, und dass auch eine in derselben Weise befestigte Sehnenfaser sie nicht dehnt.

Die der Kapsel anliegenden Fasern des Triceps kommen alle von der nächsten Umgebung der Fossa olecrani; die höher oben entspringenden Partien des Muskels gehen in eine sehr starke, platte Sehne über, deren medialer Rand sich in sagittaler Richtung umbiegt und die tiefe Fläche des Muskels beinahe erreicht. Zwischen diesem medialen Theil der Hauptsehne und den kurzen Sehnenfasern der medialen, tiefen Portion des Muskels liegt die häufig vorkommende intratendinöse Tricepsbursa (Gruber). Viel seltener trifft man einen oder gar mehrere direkt auf dem Knochen liegende subtendinöse Schleimbeutel. Der laterale Rand verdünnt sich sehr und geht, wie oben erwähnt wurde, in die Fascia antibrachii über. — Medialwärts setzt sich die Hauptsehne in ein viel dünneres Sehnenblatt fort, das an der hintern medialen Ecke und an der entsprechenden Kante der Ulna, eine Strecke abwärts, den M. epitrochleoanconæus oder die denselben vertretenden Sehnenfasern an ihrer Insertion bedeckt. Der gewöhnlich dickere, mediale Rand dieses Sehnenblattes ist etwas nach vorne umgebogen, und Muskelfasern setzten sich oft an den beiden Flächen desselben an. Von dem medialen Rande des Triceps geht konstant eine dünne, aber ziemlich feste Membran nach unten und vorne. Dieselbe scheint eher eine Fortsetzung des Perimysium, als eine wirkliche Muskelaponeurose zu sein, liegt unmittelbar auf dem Lig. collat. ulnare und befestigt sich an dem Knochen und den Ligamenten am untern Theile des Randes der Incisura semil. Bei Zug an den medialen Fasern des Triceps spannt sich diese Membran und drückt das den Winkel zwischen den Knochen überkreuzende Lig. collat. ulnare an. Dadurch wird dieses Band gespannt und damit der Kontakt der Gelenkflächen und die exakte Bewegung des Gelenks einigermassen gesichert.

Am Ansatze der Tricepssehne an das Olecranon finden wir sehr

häufig einen kleinen Schleimbeutel, der in der Regel zwischen dem medialen Theil der Hauptsehne und den kurzen Sehnenfasern der medialen, tiefen Partie des Muskels, also in der Substanz der Sehne selbst liegt. Seltener trifft man eine unter der Sehne direkt auf dem Knochen liegende Bursa. Etwa an jedem dritten oder vierten der darauf untersuchten Arme, im Ganzen an 12, darunter an beiden Armen eines 6 Monate alten Kindes, habe ich am Rande des kleinen medialen Sehnenblattes eine Schleimbursa gefunden. Dieselbe war gewöhnlich ziemlich klein, konnte aber eine Grösse von etwa einer Bohne erreichen, umfasste meistens den freien Rand der Sehne und war oft allseitig von Muskelsubstanz verdeckt, folgentlich sehr leicht zu übersehen. Ihre Anordnung erinnerte etwas an die intramuskulären Schleimbeutelchen in dem Deltoideusursprunge. Ein paar Mal erstreckte sich der Schleimbeutel bis zum N. ulnaris heran. Es scheint mir wahrscheinlich zu sein, dass es eben solche Fälle waren, die Gruber (74) u. a. mit dem Namen Bursa retroepitrochlearis bezeichnen und als sehr selten vorkommend beschreiben; es geht wenigstens nicht aus ihren Beschreibungen hervor, dass sie auf diese kleine intramuskuläre Bursa Acht gaben. Viel seltener ist ein bursaartiger Spaltraum um den N. ulnar. da, wo derselbe unter dem Epicondylus herum zieht.

Zwischen dem Triceps und dem vom Epicond. internus entspringenden Kopf des Flex. c. uln. hat das Gelenk auf einer kleinen Strecke keine Bedeckung von Muskeln. In nicht besonders seltenen Fällen wird es aber hier theilweise von einem M. epitrochleoanconæus bedeckt, der von der Spitze des Epicond. medial. zur hintern Ecke das Olecranon verläuft. Viel häufiger finden wir den Platz des Muskels nur von einem mehr oder weniger starken Bindegewebsbündel eingenommen. Auch wenn der Muskel vorhanden ist, fehlen diese Fasern gewöhnlich nicht.

Von dem medialen Epicondylus gehen nach unten zwei starke Aponeurosenblätter aus, die mit ihrem tiefen Rande dem untern Theil des Lig. collat. mediale, mit ihm verwachsen, anliegen. — Das hintere dieser Blätter trennt den humeralen Kopf des Flex. carpi uln. vom Flex. digit. subl., beiden theilweise zum Ursprung dienend, das vordere in derselben Weise den Flex. digit. sublim. von dem Pronator teres. Gegen die Oberfläche hin spaltet sich die vordere der Aponeurosen, um die von ihr entspringenden Mm. palmaris longus und flexor carpi radial. aufzunehmen. Der humerale Kopf des Flex. carpi uln. verdünnt sich nach hinten und bedeckt den hier dicht auf der Kapsel abwärts ziehenden N. ulnaris. Einige Fasern dieses Muskels nehmen ihren Ursprung von den queren Sehnenfasern, die den M. epitrochleoanconæus ersetzen oder begleiten. Der ulnare Ursprung des Flexor digit. sublimis erstreckt

sich nach oben, bis zum Ansatze des Lig. collat. uln. am Kronenfortsatz. Einige ihm angehörige Sehnenfasern entspringen nicht selten von diesem Bande selbst und gehen bisweilen auch direkt in das Lig. Cooperi über[1]).

Von dem Pronator teres, der in der Tiefe mit dem angrenzenden Brachialis ziemlich intim verbunden ist, bisweilen sogar durch Austausch von Muskelfasern, kommen nur selten einige Fasern von dem Lig. collat. ulnare. — Die tiefen Beugemuskeln treten bisweilen bis in die Nähe des Gelenks hinauf. Der Flexor pollicis long. kann einen kleinen Kopf von der lateralen Seite der Tuberosit. ulnæ, seltener vom Brachialis selbst bekommen. Der Flexor digit. prof. erstreckt sich an der medialen Fläche der Ulna bisweilen bis zur Mitte der Incisura semilunaris hinauf.

Sämmtliche an dem Ellenbogengelenk vorbeiziehende Muskeln sind von ihren Fasciæ propriæ umgeben; die funktionell zusammengehörigen sind ausserdem durch stärkere Fascienbildungen zu bestimmten Gruppen vereinigt. Diesen intermuskulären und superficiellen Bindegewebszügen folgen die zum Unterarm hinabziehenden Nerven und Gefässe. Die stärksten dieser Züge liegen an den beiden Seiten des Brachialis und stossen vor dem Muskel zusammen, wo sie die Bicepssehne umschliessen. In der medialen Lamelle, die ihn vom Pronator teres trennt, verläuft der N. medianus, und mehr nach vorne lateralwärts die Art. brachialis; in der lateralen, zwischen dem Brachialis und dem Brachioradialis sammt dem Ext. c. rad. long. liegenden Lamelle zieht der N. radialis; diese setzt sich in das relativ starke, fettgefüllte Bindegewebe zwichen dem Radiushals und der Ulna fort und sendet an den beiden Seiten der Bicepssehne die erwähnten Züge zum medialen sehnigen Rand des Ext. c. rad. brev.

An der Stelle, wo die beiden Fascienlamellen vor dem Brachialisansatze zusammentreten, sehen wir eine sehr wechselnde Anordnung und Stärke der Bindegewebszüge. Der Chorda obliqua können sich in verschiedener Weise verstärkende Fasern anlegen, oder auch wird dieselbe gänzlich von diesen zum Fasciengewebe gehörenden Bündeln vertreten. Hier entwickeln sich die häufigen anomalen Muskelköpfe und Sehnen der oberflächlichen und tiefen Fingerbeuger und des Daumenbeugers, die radiale Insertion des Brachialis u. s. w. Nach unten setzt sich das Bindegewebe in zwei vom Flex. dig. sublim. getrennte

[1]) Ob dieses Band der Rest eines früher vorhandenen, jetzt degenerirten, mehr proximal entspringenden Ursprungs des M. flex. sublim. ist, oder ob es sich aus mechanischen Ursachen durch den Zug des Muskels differentirt hat, darüber habe ich in der Embryologie und der vergleichenden Anatomie vergebens nach Aufschluss gesucht.

Lamellen fort; nach hinten bildet es zwischen der medialen Seite des Radius und der Bicepssehne einerseits, der Ulna und dem ulnaren Supinatorursprung andererseits ein sehr lockeres, grossmaschiges Bindegewebe, in dem sich bei muskulösen Individuen bisweilen ein deutlich begrenzter, von Collins (73) zuerst beschriebener Schleimbeutel entwickelt.

Die von den Epicondylen entspringenden Muskeln sind von der starken Fascia antibrachii bedeckt, die ihnen theilweise zum Ursprung dient. In diese Fascie gehen Fasern vom lateralen Rande der Bicepssehne und vom Lacertus fibrosus über. Unter der Haut finden wir einen beinahe konstanten Schleimbeutel am Olecranon, aber verhältnissmässig selten solche über dem medialen und dem lateralen Epicondylus. Der erstgenannte ist oft zwei- oder mehrfach vorhanden. Starke Bindegewebsbündel durchziehen ihn gewöhnlich in querer Richtung, was wohl mit der Hauptrichtung der Fasern im subcutanen Bindegewebe in Zusammenhang steht.

ZWEITER ABSCHNITT.

Die Bewegungen des menschlichen Ellenbogengelenks.

In der Lehre von den Gelenkbewegungen ist scharf zwischen der passiven und der aktiven Beweglichkeit zu unterscheiden. Die erstere umfasst sämmtliche Lagen und Stellungen der Knochen zu einander, die durch den Bau des Gelenkes, vor allem durch die Gestalt der Gelenkflächen und durch die Anordnung der hemmenden Bandapparate mechanisch möglich sind, die letztere nur die Bewegungen, die unter normalen Verhältnissen freiwillig ausgeführt werden können.

Dieser Unterschied ist in vielen Arbeiten gar nicht beachtet oder wenigstens nicht hinreichend hervorgehoben, was oft zu Unklarheit und Missdeutungen Anlass gegeben hat. Die meisten Autoren besprechen nur die aktiven Bewegungen der Gelenke; andere aber nehmen auch auf die rein passive Beweglichkeit Rücksicht[1]).

Die passive Beweglichkeit ist am leichtesten an der Leiche zu studiren; nur hier kann man die Theile hinreichend fest fixiren und die Zahlen und die Winkel genau ablesen. Man muss aber dabei auf die unvermeidlichen Fehlerquellen genau Acht geben; die individuellen Variationen sowohl in dem Bau des Gelenkes, wie in der Entwickelung der Muskulatur, die mit der Todtenstarre oder der Verwesung wechselnde Elasticität und Festigkeit der Weichtheile müssen vor allem berücksichtigt werden. Dann muss man auch die natürlichen Verhältnisse möglichst genau durch Anbringung der nicht zu stark zuzumessenden Kräfte in der Nähe der entsprechenden Muskelansätze und durch Ersetzung des Muskeltonus durch einen leichten Druck der Knochen gegen einander nachahmen. Wird der Leichenversuch in dieser Weise

[1]) Sappey spricht in seiner Traité d'Anatomie descriptive z. B. von seitlichen Bewegungen (mouvements lateraux) in den Interphalangealgelenken. Mit vollständig demselben Rechte könnte man den Phalangen eine rotatorische Beweglichkeit um ihre Längsachse zuerkennen, denn schon eine sehr mässige, von aussen wirkende Kraft kann sie in dieser Richtung etwas bewegen. Es handelt sich jedoch dort nur um die Elasticität der Zusammenfügung.

mit Umsicht und Kritik ausgeführt, kann er zu wichtigen Schlüssen in Betreff des Verhaltens der lebenden Gelenke führen. Er kontrollirt die Versuche über die aktiven Bewegungen[1]), und er hilft auch dem Chirurgen bei der Beurtheilung der durch direkte oder indirekte Gewalt entstehenden Frakturen und Luxationen.

Dass die Masse der passiven Beweglichkeit, wenn sie sogar aus Versuchen an Lebenden herstammen sollten, in keiner Weise auf die aktiven Bewegungen direkt übertragen werden dürfen, daran brauche ich kaum zu erinnern. Die passive Beweglichkeit bestimmt nur die Grenzen, die die willkürlichen Bewegungen nicht überschreiten können; diese Grenzen werden aber in der Regel auch nicht erreicht.

Die Ursachen der geringeren aktiven Beweglichkeit sind verschiedener Art. Theils leistet der Tonus der antagonistischen Muskeln einen grösseren Widerstand, theils ist in den letzten Phasen einer Bewegung die Kraft des schon stark verkürzten Muskels beträchtlich verringert und seine Angriffsrichtung ungünstiger geworden. Durch den Tonus und durch die willkürlichen Kontraktionen der Muskeln werden die Gelenkflächen mit einer bedeutenden Kraft auf einander gepresst; die Friktion wird grösser und die Kongruenz vollständiger, wodurch namentlich die atypischen Wackelbewegungen sehr beschränkt werden[2]).

Versuche über die Bewegungen des Ellenbogengelenks an Leichen sind von vielen Verfassern und nach den verschiedensten Methoden ausgeführt worden. Auch weichen die Resultate oft ziemlich stark von einander ab. Eine kritische Vergleichung derselben ist aber schwer, da die Untersuchungsmethoden oft gar zu unvollständig angegeben sind. Viele Forscher deduciren ihre Schlussfolgerungen hauptsächlich aus der Form der Gelenkflächen, aus den auf dieselben gezeichneten Spurlinien u. dgl., die meisten haben aber die Bewegungsbahnen direkt

[1]) Hätte Lecomte (48) das Zeugniss der Leichenversuche nicht so bestimmt in Abrede gestellt, so würde er z. B. nie haben behaupten können, dass die Ulna sich bei der Pronation in einer Spiralbewegung 6—8 (10) mm nach oben hinter die Humerusrolle verschiebe (!).

[2]) Der Druck der Gelenkflächen gegen einander ist viel grösser, als man sich gewöhnlich vorstellt. Schon die unbedeutende Anstrengung, die nöthig ist, um den unbelasteten Arm bei vertikalem Oberarm rechtwinkelig gebeugt zu halten, presst die Gelenkflächen mit einem Druck von c. 6—7 kg gegen einander, was aus dem Gewichte des Unterarms (1,8—2,0 kg) and aus der Länge der Hebel, d. h. der Entfernung des gemeinsamen Schwerpunktes des Unterarms und der Hand von der Gelenkachse (17—19 cm) und des Ansatzes der hierbei hauptsächlich wirksamen Muskeln, Biceps und Brachialis, von derselben Achse (c. 4 cm) leicht zu berechnen ist. Schon eine Belastung von 2 kg in der Hand steigert den Druck bis auf 20—21 kg. (Die Angaben über das Gewicht und die Lage des Schwerpunkts des Unterarms sind aus Braune und Fischer, Über den Schwerpunkt d. menschl. Körpers. Abh. d. Sächs Ges. d. Wiss,. Math. Phys. Cl. Bd. XV, 7 (1889), entnommen.)

aufgezeichnet und gemessen, wobei abwechselnd der Unter- und der Oberarm unbeweglich festgeschraubt waren. Unbedingt am genauesten sind die von Braune und Fischer (32) ausgeführten Versuche; auch scheint ihre mathematische Bearbeitung derselben möglichst exakt zu sein, und es wäre daher sehr zu wünschen, dass der von ihnen eingeschlagene Weg auch von anderen Forschern betreten würde. Einer ausgebreiteten Anwendung dürfte die Braune-Fischer'sche Methode sich aber wohl nie erfreuen. Abgesehen davon, dass die mathematischen Operationen wohl vielen Anatomen als etwas schwerverständlich und mühsam erscheinen, so ist die Methode etwas zu umständlich und zeitraubend, um auf eine grössere Anzahl Individuen angewendet werden zu können.

Wie ich schon angedeutet habe und auch weiter zeigen werde, sind die individuellen Wechselungen im Bau und in den Funktionen des Ellenbogengelenks viel zu gross, als dass man aus den Untersuchungen von einem oder ein paar Individuen auf das typische Verhalten schliessen könnte. Diese Überzeugung hat mich veranlasst, einfachere und handlichere Methoden als die der letztgenannten Autoren anzuwenden. Ich verhehle mir nicht, dass sie in gewissen Beziehungen weniger exakt sind; da es sich aber nur um die Feststellung des allgemeinen Typus und der wichtigeren Variationen handelt und die wahrscheinlichen Fehler bei weitem nicht die Grösse der individuellen Wechselungen erreichen, so schien mir ihre Anwendung gleichwohl berechtigt zu sein.

Im Ellenbogengelenk kommen nur zwei typische Bewegungsarten vor, die Flexion-Extension und die Supination-Pronation. Die erstere gehört hauptsächlich dem Humeroulnargelenk, die letztere dem Radioulnargelenk an. Die mit ihnen verbundenen Bewegungen des Radius gegen dem Humerus haben auf die Form der Bewegungen keinen wesentlichen Einfluss.

Die **Bewegungsachsen** des Ellenbogengelenks können nur durch Leichenversuche bestimmt werden. Sie können, wie es von Fischer (32) geschehen ist, aus den Bahnen der Knochen bei den Bewegungen mathematisch sehr exakt berechnet werden; für die praktischen Bedürfnisse können sie auch hinreichend genau rein empirisch bestimmt werden. Befestigt man die Ulna in einem Schraubenstock, schlägt lange Nadeln in die Epicondylen, biegt und stellt die Nadeln dann so ein, dass ihre Spitzen, wenn man mit dem Humerus Flexions- und Extensionsbewegungen ausführt, möglichst kleine Bewegungen machen, so hat man zwei

Punkte auf der Flexionsachse, die in verschiedener Weise, entweder durch direktes Visiren zwischen zwei Fadenkreuzen o. dgl., oder durch Eintauchen des Knochens in eine färbende Flüssigkeit, bis die Nadelspitzen die Oberfläche derselben berühren, auf den Knochen projicirt werden können.

Bei einer Anzahl Versuche dieser Art zeigte es sich zuerst, dass die Spitzen der Nadeln nie vollständig still bleiben, sondern verschieden gestaltete, unregelmässige Figuren zeichnen. Die Flexionsachse ist also, was auch früher bekannt war, nicht konstant, sondern sie schwankt in den verschiedenen Lagen nicht unwesentlich. Wenn man von den gewöhnlich beträchtlicheren Abweichungen am Beginne und am Ende der Beugung absieht, ist es jedoch nicht schwierig, eine mittlere Lage der Achse herauszuprüfen, von welcher nur verhältnissmässig geringe Schwankungen vorkommen.

Die in der genannten Weise bestimmte, mittlere Flexionsachse geht quer durch die Humerusrolle und verlässt den Knochen an dem Theile der vordern Fläche des Epicondylus medialis, welcher dem M. flex. dig. subl. zum Ursprung dient, nahe der Wurzel und nur wenig oberhalb dem untern Rande des Epicondylus. Auch an der lateralen Seite erscheint sie an der vordern untern Fläche des Epicondylus, geht aber hier näher der am meisten hervorragenden Partie desselben durch die Ursprungsstelle des Supinator.

Die mittlere Rotationsachse des Radius gegen die als fest gedachte Ulna kann in ähnlicher Weise, durch lange in dem Radius befestigte Nadeln, deren Spitzen man in die Fortsetzung der Achse einstellt, empirisch bestimmt werden. Hierbei müssen aber die Weichtheile zum grossen Theile vom Radius entfernt werden der Arm muss in rechtwinkeliger Beugung gehalten werden, damit der Oberarm das Einstellen der obern Nadelspitze nicht hindert, ebenso muss der Unterarm von seiner Verbindung mit der Hand und dem Humerus gelöst werden, ehe die Nadelspitzen auf den Knochen projicirt werden können.

Die Rotationsachse geht, worauf auch schon theoretisch geschlossen werden kann, oben ziemlich genau durch die Mitte der oberen Fläche des Radiuskopfes (dagegen nicht durch die Mitte der eigentlichen Fovea rad.) Da der Kopf aber oval ist und immer mit der Incisura radial. in Kontakt bleibt, — wovon man sich leicht durch Palpation oder durch Betrachtung der Leimabgüsse der Gelenkhöhle überzeugt, — so kann diese Achse nicht unveränderlich sein, sondern sie muss sich bei der Bewegung ein wenig verschieben.[1]) — Von dem genannten Punkte geht sie, etwas nach

[1]) Die Bogenlinie, die POIRIER (Traité d'Anatomie) die fragliche Achse beschreiben lässt, scheint mir schon aus theoretischen Gründen nicht typisch sein zu können; auch stimmt sie mit meinen Versuchen nicht überein.

hinten und medialwärts, durch den Hals nach unten, um an der früher genannten Rauhigkeit am Radius, wo sich die schräg von der Ulna an der Hinterseite der Membrana interossea hinabsteigenden Fasern und der stärkste der vom Radius hinabsteigenden Faserzüge desselben Bandes befestigen, den Knochen zu verlassen. Die Fortsetzung der Achse folgt der Membrana interossea, bis sie sich etwa 3 cm oberhalb des untern Endes der Ulna in diese hinein begiebt, um neben der Wurzel des Griffelfortsatzes aus ihr wieder herauszutreten. Auch hier scheint die Achse bei den Bewegungen etwas zu schwanken.

A. Die Flexion und Extension.

Bei den obengenannten Versuchen zur Bestimmung der mittleren Flexionsachse beobachtet man oft eine kleine Verschiebung der Nadelspitzen lateral- oder medialwärts in der Richtung der Gelenkachse. Ich habe 13 Arme in dieser Hinsicht untersucht. Die Verschiebung wechselt im Allgemeinen zwischen $^1/_2$—2 mm. Drei Mal konnte ich keine solche Verschiebung bemerken, oder auch war sie nicht messbar. In 6 Fällen näherte sich bei Streckung des Gelenkes die im Epicond. lateral. befestigte Nadel der vor sie gehaltenen Marke und entfernte sich von ihr bei Beugung; auf die natürliche Lage übertragen, heisst dies, dass die Ulna sich bei Beugung lateralwärts auf die Humerusrolle verschiebt. In 4 Fällen war das Verhältniss das entgegengesetzte: die Nadel näherte sich bei Beugung der Marke, was eine flexorische Verschiebung der Ulna medialwärts bedeutet. Die genannten Seitenbewegungen können nur als ein Ausdruck einer Art von Schraubenbewegung aufgefasst werden, und zwar hatte die Schraube in den einzelnen Fällen nicht nur einen verschiedenen Ascensionswinkel, sondern sogar eine verschiedene Windungsrichtung. Es scheint also, als wäre die Beugung und Streckung des Ellenbogengelenks öfter eine kleine Schraubenbewegung, als eine reine Ginglymusbewegung. Die Schraube ist am rechten Arme öfter rechts, am linken links gewunden, woraus folgt, dass der Unterarm bei der Flexion etwas lateralwärts verschoben wird. Gar nicht selten ist aber das Entgegengesetzte der Fall, der Winkel ist am rechten Arme links und am linken rechts gewunden und die Flexion verschiebt den Unterarm medialwärts.[1])

*) Meissner (49) war der erste, der die Aufmerksamkeit auf eine Schraubenbewegung des Ellenbogengelenks richtete und das rechte Ellenbogengelenk mit einer rechtsgewundenen Schraube mit einer Höhe des Ganges von 4 mm verglich. Ihm folgten

Die Schwankungen der Flexionsachse, die sich in den Bewegungen der Nadelspitzen bei den eben beschriebenen Versuchen zeigten, müssen in den Bewegungen des Unterarms gegen den fixirten Oberarm entweder Drehungen der Ulna um ihre Längsachse, oder seitlichen Abweichungen derselben von der idealen Beugungsebene entsprechen; diese Bewegungen können bei einer andern Versuchsanordnung genauer untersucht werden.

An dem im Schultergelenk exartikulirten Arme wird zuerst die mittlere Flexionsachse des Ellenbogengelenks in der oben beschriebenen Weise durch Nadeln, die in den Epicondylen befestigt und genau eingestellt sind, empirisch bestimmt und die Grösse der Schraubenbewegung gemessen. Der Oberarm wird dann unbeweglich an ein Stück Holz befestigt und dieses an einer losen Tischplatte genau in einer solchen Lage festgeschraubt, dass die Achse senkrecht auf der Platte steht; durch Visiren aus der Ferne gegen ein auf die Platte gestelltes Winkelbrett können die Nadelspitzen genau winkelrecht eingestellt werden.

Die Tischplatte wird dann in eine vertikale Richtung gebracht, so dass der Unterarm als ein Pendel nach unten hängt. Durch Drehen der Platte kann er also in jede Beugelage eingestellt werden, wobei die Schwerkraft in möglichst unveränderter Weise auf ihn einwirkt.

Ausser der für das Festschrauben der Ulna und des Humerus nöthigen Ablösung der Weichtheile an einer begrenzten Stelle an der Mitte dieser Knochen und kleinen Schnitten, um die Nadeln vor eine Verschiebung durch die Haut zu bewahren, kann der Arm ganz unversehrt sein. Eine lange Nadel ist an der hintern Seite in das Olecranon eingeschlagen, eine kurze in das Capitulum ulnæ. Die Entfernung der freien Spitzen beider Nadeln und des befestigten Endes der Olecranonnadel von der Tischplatte wird für jede um 10° veränderte Flexion des Ellenbogengelenks gemessen.

Wäre das Ellenbogengelenk ein echter Ginglymus, so müssten diese Distanzen für sämmtliche Flexionslagen gleich gross ausfallen; ist dagegen eine reine Schraubenbewegung vorhanden, so werden sie mit demselben Masse für alle drei Punkte verkürzt oder verlängert. Wenn sich aber das Capitulum ulnæ mehr oder weniger als das Olecranon von der Platte entfernt oder sich ihr nähert, dann bedeutet dies eine Veränderung in der Lage der Flexionsachse, eine Bewegung der Ulna in der Adduktions- oder der Abduktionsrichtung [1]).

---

viele Autoren, nur unter etwas anderer Schätzung der Steigung. — BRAUNE und KYRKLUND (34) verneinen diese Schraubenbewegung — so viel man aus ihrem Berichte sehen kann, nur auf zwei(!) Versuche gestützt. Für viele spätere Autoren war dieses jedoch Beweis genug. Die streitigen Ansichten über diese Sache rühren nicht von fehlerhaften Beobachtungen her, sondern von der Untersuchung einer zu geringen Anzahl Individuen und einer zu schnellen Verallgemeinerung der Ergebnisse der Untersuchung. Beide Parteien haben Recht, aber auch Unrecht.

[1]) Die Beweglichkeit des Ellenbogelenks in seitlicher Richtung kann bei derselben Versuchanordnung leicht für die verschiedenen Flexionslagen bestimmt werden; man lässt nur eine konstante Kraft (durch eine von einem Gewicht gespannte Schnur) auf den Unterarm abwechselnd in der Richtung gegen die Platte und von ihr ab wirken und misst wie früher die Distanzen, aus denen sich der Winkelwerth der Exkursionen leicht berechnen lässt.

Wenn die Spitze der Olecranonnadel und ihr befestigtes Ende sich verschieden stark bewegen, so ist dieses ein Zeichen einer rotatorischen Bewegung der Ulna. Der Winkelwerth dieser Abweichungen der Ulna von der reinen Ginglymus- oder Schraubenbewegung ist durch eine sehr einfache trigonometrische Berechnung zu bestimmen. Es seien a und b die Abstände der Spitze und der Wurzel der Olecranonnadel und c der Abstand der Capitulumnadel in einer beliebigen Lage; a', b', c' die Abstände dieser Punkte in einer anderen Lage, m die Entfernung der Punkte a und b von einander (= die Länge der Olecranonnadel) und n die der Punkte b und c (= die Länge des Unterarms), so ist der Winkel der Ulnarotation x nach folgenden Formeln zu berechnen.

$$\frac{a-b}{m} = \sin \alpha; \qquad \frac{a'-b'}{m} = \sin \alpha'; \qquad \alpha - \alpha' = x.$$

Für die Berechnung des Ab- und Adduktionswinkel y gelten folgende Formeln.

$$\frac{b-c}{n} = \sin \beta; \qquad \frac{b'-c'}{n} = \sin \beta'; \qquad \beta - \beta' = y.$$

Wenn wir anstatt des Humerus die Ulna festschrauben und die Exkursionen des Humerus untersuchen, so werden wir natürlich auch entsprechende Abweichungen finden, die aber nicht in derselben Richtung gehen. Eine gegenseitige Lagenveränderung der Knochen, die sich bei der vorigen Versuchsanordnung als eine Drehung der Ulna um ihre Achse kund gab, wird nur bei Streckung des Armes als eine Drehung des Humerus in entgegengesetzter Richtung, bei rechtwinkeliger Beugung des Armes dagegen als eine Bewegung in seitlicher Richtung imponiren. Der Ab- und Adduktion der Ulna entspricht bei dieser Anordnung bei der Flexion eine Rotation, bei der Extension eine wirkliche Seitenbewegung des Humerus.

Über die verschiedenen, nach den beschriebenen Methoden ausgeführten Versuche werde ich hier nicht berichten, sondern nur die Hauptergebnisse derselben kurz anführen.

Zuerst muss dann hervorgehoben werden, dass die individuellen Wechselungen höchst bedeutend sind, was man auch auf Grund der wechselnden Gestalt der Gelenkflächen erwarten kann. Dieses gilt vor allem von den kleinen Nebenbewegungen, die mit der typischen Hauptbewegung verknüpft sind und für welche deshalb nur wenige allgemeine Regeln gegeben werden können.

Diese accessorischen Bewegungen in seitlicher oder rotatorischer Richtung sind in den mittleren Phasen der Beugung verhältnissmässig gering, und zwar von einem Winkelwerth von nur 1—2°; hier ist also der Ginglymustypus des Gelenks am reinsten. Wenn sich aber das Gelenk seinen extremen Lagen nähert, werden dieselben beträchtlich grösser bis etwa 5—10°. Diese letzteren stärkeren Abweichungen entsprechen den von Meyer (86) u. a. beobachteten Schlussrotationen. Wenn Meyer sie aber lediglich als eine leichte Drehung der Ulna um ihre Längsachse auffasst, so ist dies meiner Erfahrung nach nicht für alle

Fälle zutreffend; zu gleicher Zeit habe ich auch eine seitliche Abweichung, und zwar am Ende der Streckung immer in abduktorischer, bei Beugung entweder in abduktorischer, oder adduktorischer Richtung, gesehen. Die Drehung der Ulna um ihre Längsachse scheint mir in der Regel bei Beugung des Armes in der Richtung der Supination zu verlaufen.

Die erste Ursache dieser acessorischen Bewegungen liegt wahrscheinlich in der Anordnung der Muskeln, die bei ihren Kontraktionen allmählich kleine Umgestaltungen in der Form der Gelenkenden hervorgebracht haben. Um die einzelnen hierbei wirksamen Faktoren analysiren zu können, wären aber viel mehr umfassende Versuche als die meinigen erforderlich.

Die Beweglichkeit in der Flexionsebene hat in der Regel einen Umfang von etwa 130—150°. Der Winkel, den der Unterarm mit dem Oberarm bei stärkster Beugung bildet, beträgt etwa 30—40°; bei extremer Streckung ist er gewöhnlich 160—180°, kann aber bisweilen auch zwei Rechte überschreiten. Ein grösserer Umfang der Beweglichkeit scheint bei schwacher Entwickelung des Skeletts etwas häufiger zu sein, wogegen wir bei starkem Skelettbau nicht selten relativ kleine Exkursionen finden, was hauptsächlich von einer früher eintretenden Knochenhemmung abhängt.

Durch die Verbindungen zwischen dem Radius und der Ulna müssen in den Flexions- und Extensionsbewegungen gegen den Humerus beide Knochen einander ziemlich genau folgen. Die Bewegungsachse der Ulna gehört mit in der Regel nur unerheblichen Abweichungen auch dem Radius an. Von diesen Abweichungen soll nur an eine erinnert werden, dass nämlich bei einer Bewegung der Ulna in ab- oder adduktorischer Richtung eine kleine Längsverschiebung des Radius eintreten muss, wenn er seinen Kontakt mit dem Cap. humeri und der Incisura rad. behalten soll. Eine solche beobachtet man auch nicht selten, wenn man den Humerus gegen die festgeschraubte Ulna bewegt[1]).

Die Hemmung der Extension wird theils durch die Spannung der Vorderwand der Kapsel und der an der Flexionsseite der Gelenks liegenden Muskeln und Weichtheile, theils und vornehmlich durch das Anstossen des Olecranon an die hintere Fläche des Humerus bewirkt. Entweder trifft das Olecranon mit seinem Schnabel den Boden der Fossa olecrani, wo wir dann die Druckspuren an dem Knochen sehen

[1]) In einem Falle schien mir diese Längsverschiebung der Ulna eher von einer kleinen Excentricität des Radiuskopfes herzurühren, ganz wie wir es später bei den Vögeln und vielen Reptilien finden werden. Bei mittlerer Beugelage war der Radius am meisten distal verschoben, um sowohl bei weiterer Beugung, wie bei Streckung hinaufzurücken.

können, oder auch kann es von den Seitenwänden der Fossa aufgehalten werden. Die Grube hat nähmlich in ihrem untern Theil oft eine geringere Breite als das Olecranon, wodurch ein Anstemmen der Seitenränder desselben gegen die Wände der Grube eintritt, ehe noch seine Spitze am Grunde der Fossa angelangt ist. Von den Spuren dieses Anstosses an der medialen Wand der Fossa war oben (S. 51) die Rede, ebenso von ihrem etwas häufigeren Vorkommen bei männlichen Leichen. Der letztere Hemmungsmechanismus ist von den Autoren übersehen worden, die, wie CUNNINGHAM (36), auf Grund des Verhaltens an sagittalen Gefrierschnitten die konstante Knochenhemmung bei der Extension in Abrede stellen.

Bei extremer Beugung stemmt sich der Kronenfortsatz nicht selten gegen den Humerus; auch der Radiuskopf trifft wohl dann gewöhnlich knöchernen Widerstand, seine elastische Verbindung mit der Ulna bewirkt aber, dass diese Hemmung weniger Bedeutung hat und auch mehr selten als der Anstoss des Kronenfortsatzes deutliche Spuren unter der Form einer Verdickung des Periostes hinterlässt. Bei muskulösen Individuen scheinen aber die Weichtheile in der Ellenbogenbeuge der weiteren Flexion hindernd entgegenzutreten, noch ehe ein Kontakt der Knochen eingetreten ist. Auch die Spannung der Hinterwand der Kapsel und der hintern Fasern der Seitenbänder bildet ein relatives Hinderniss für eine zu starke Flexion.

Die aktiven Flexions- und Extensionsbewegungen scheinen in ihrem Umfang und ihren Bahnen nicht viel von der jetzt behandelten passiven Beweglichkeit abzuweichen. Nur wird im Allgemeinen die Flexion durch die kontrahirten Muskelmassen des Biceps und des Brachialis etwas früher gehemmt [1]).

B. Die Pronation und Supination.

Die Bewegung des Radius gegen die festliegende Ulna ist eine ziemlich typische Rotationsbewegung [2]); die Abweichungen sind relativ klein und, wie mir scheint, ohne besonderes Interesse.

[1]) Was die in den verschiedenen Bewegungen und Bewegungsphasen wirksamen Muskeln anbetrifft, so kann ich auf die betreffenden Kapitel der Hand- und Lehrbücher verweisen. Eine Aufzählung von längst bekannten und in der Litteratur jedem zugänglichen Thatsachen würde zu nichts dienen, und eingehendere Untersuchungen über den Muskelmechanismus hatte ich bis jetzt keine Gelegenheit auszuführen.

[2]) Die nicht seltene Anwendung des Wortes Circumduction für die Drehung des Radius scheint mir sehr unglücklich zu sein, und hat schon mehrmals Missverständnisse veranlasst (HEIBERG 44, DWIGHT 39). Die Circumduction beschreiben die

Der Umfang der Drehungen beträgt etwa 150° und wird durch verschiedene Bandapparate gehemmt. Die vom Radiushals zum Lig. annulare gehenden Fasern wickeln sich bei stärkerer Drehung in beiden Richtungen um den Radius herum und werden stark gespannt. Die schrägen hintern Fasern der Membrana interossea spannen sich bei extremer Pronation, die Chorda obliqua bei Supination, ebenso scheinen die Verbindungen am untern Radioulnargelenk als Hemmapparate wirken zu können. Auch die Spannung der Pronations- und der Supinationsmuskeln spielt natürlich hierbei eine Rolle. Kleine Verschiebungen des ganzen Radius in seiner Längsrichtung und des Radiuskopfes nach vorne und hintern sind, Dank der Elasticität der ligamentösen Verbindungen, ebenfalls möglich und auch gewissermassen nöthig, damit die übrigen, nie mathematisch genau verlaufenden Bewegungen des Gelenks nicht gehindert werden.

Über die aktive Drehung des Unterarms ist viel geschrieben, und viel gestritten, und die Meinungen sind noch nicht einig geworden. Die Lehre, dass sich auch die Ulna mittels seitlichen Bewegungen an der Drehung direkten Antheil nimmt, was von Lecomte (47), Duchenne (37), Heiberg (45) u. a. gepredigt wurde, hat sich trotz lebhaften und, wie mir scheint, oft sehr wohlbegründeten Widerspruches auch in die Lehrbücher Weg gebahnt. — Um nur ein Paar Beispiele anzugeben, finden wir bei Quain, Poirier und Brösike bestimmte Angaben, dass die Ulna bei der aktiven Pronation und Supination seitliche oder rotatorische Bewegungen gegen den Humerus normal ausführt.

Es soll hier nicht auf die Geschichte dieser Lehre eingegangen werden; bis 1885 ist sie von Heiberg (46) geschrieben worden und die mir bekannten späteren Arbeiten über diese Frage sind in dem Litteraturverzeichniss angeführt.

Autoren im Allgemeinen nur als eine Bewegung, wo der Hebel eine Kegelfläche mit der Spitze im Gelenke selbst beschreibt. Eine solche Definition ist gar nicht hinreichend; sie würde dann zwei ganz und gar verschiedene Bewegungstypen, theils z. B. die Bewegungen des Kopfes beim »Kopfrollen» der Gymnasten, oder die des Unterarms beim Drehen einer Kurbel, theils die typischen Bewegungen im Radioulnar- und im Talotarsalgelenk umfassen. Im ersten Falle handelt es sich um eine Kombination von Bewegungen um zwei verschiedene, gegen einander winkelrechte Achsen; im letzteren geschieht die Bewegung um eine einzige Achse, die mit der des Kegels zusammenfällt. Dort wendet der sich bewegende Körpertheil in jedem Augenblick eine neue Seite gegen die Kegelachse; hier rotirt er selbst, kehrt aber immer dieselbe Seite gegen diese Achse. — Nur für den ersteren in jedem Sattel- oder Eigelenk vorkommenden Bewegungstypus, die Kegelbewegung durch Kombination von Bewegungen um zwei gegen einander winkelrechte Achsen, möchte ich den Namen Circumduction anwenden; für die letztere die jedem Drehgelenke angehört, wo die Längsachse des Hebels mit der Rotationsachse einen Winkel bildet, könnte man vielleicht das Wort Kegelrotation anwenden.

Die Bewegung der Ulna soll vor allem in einer Abduktion bei der Pronation und einer Adduktion bei der Supination bestehen; verschiedene Autoren sprechen noch von einer kleinen Streckung des Ulnohumeralgelenks am Anfang und einer Beugung am Ende der Drehung (in beiden Richtungen) oder von einer Drehung der Ulna um ihre Längsachse in derselben Richtung, wie die Bewegung des Radius. Durch diese Kombination der Bewegungen soll die Drehungsachse des Unterarms durch die Mittellinie der Hand verlegt oder sogar beliebig verändert werden können.

Dass durch Leichenversuche eine derartige Bewegung demonstrirt werden kann, soll nicht bestritten werden. Bei der Schlaffheit der Verbindungen, der Abwesenheit des Muskeltonus und vor allem bei der so wesentlich verschiedenen Anbringungsweise der Kraft[1]) sind aber solche Versuche für die Verhältnisse beim Lebenden keineswegs beweisend. Dass auch am Lebenden das untere Ende der Ulna bei den Drehungen des Unterarms gewöhnlich eine kleine Bogenlinie beschreibt, darüber kann auch kein Zweifel herrschen, und ebensowenig darüber, dass diese Bewegung aus einer kleinen Extension und Flexion in dem Ellenbogengelenk und einer kleinen seitlichen Verschiebung des Capit. ulnæ besteht. Es ist also fast nur das Wesen dieser letzten Bewegung, worüber die Ansichten auseinandergehen. Heiberg und seine Anhänger verlegen sie in das Ellenbogengelenk; andere Autoren in das Schultergelenk.

Für die Richtigkeit der letzteren Ansicht sprechen viele Thatsachen. Eine Rotation im Schultergelenk kann unzweifelhaft eine Bewegung des gebeugten Unterarms in ab- oder adduktorischer Richtung veranlassen, und sie wird auch oft zu diesem Zweck ausgeführt. Es ist also die Annahme einer seitlichen Beweglichkeit im Ellenbogengelenk selbst für die Erklärung der Drehung gar nicht nöthig. Dass das Schultergelenk dabei auch wirklich eine aktive Rolle spielt, geht auch aus Cathcarts (35) Beobachtungen an Personen mit Ankylose in diesem Gelenke hervor. Anderseits sind die seitlichen Wackelungen des Gelenks, die man bei den Leichenversuchen findet, wenigstens nicht immer hinreichend gross, um die erforderlichen Exkursionen der Ulna zu erlauben, und nie so regelmässig, wie man es bei einer typischen Bewegungsart erwarten könnte. Wenn man bei den Leichenversuchen die Gelenkflächen etwas gegeneinander drückt, bei weitem nicht mit der Kraft, die man für

[1]) Besonders die Wirkungen des Pronator quadratus und des ulnaren Theiles des Supinator, deren jeder seine Ansatzpunkte an der Ulna und am Radius einander zu nähern sucht und also in ganz entgegengesetzter Richtung auf die beiden Knochen drehend einwirkt, können unmöglich durch eine an der Hand wirkende, beide Knochen nach derselben Seite drehende Kraft ersetzt werden. Dieses wurde bis jetzt immer bei den Leichenversuchen gethan.

den aktiven Zug der Muskeln berechnen kann, wird auch diese seitliche Beweglichkeit äusserst beschränkt. Schliesslich scheint mir die Anordnung der Muskeln ganz bestimmt gegen willkürliche Seitenbewegungen des Humeroulnargelenks zu sprechen. Ausser dem Anconæus finden wir keine Muskelkomponenten von Bedeutung, die für solche Bewegungen geeignet wären. Auch dieser Muskel ist dafür nicht günstig situirt; durch seine Theilnahme an den Streckbewegungen würde er in der Beuge- und der Strecklage eine sehr verschiedene Kraft für die Seitenbewegungen der Ulna einsetzen können, ja in der letzteren Lage wegen aktiver Insufficienz kaum eine Wirkung auszuüben vermögen. Vieles liesse sich noch gegen die aktive Theilnahme der Ulna an den Drehbewegungen des Unterarms einwenden. — Mehrere der oben angeführten Gründe sind aber schon von andern Autoren mit grosser Kraft hervorgehoben worden, ohne jedoch die Anhänger dieser Lehre zu überzeugen. — Es scheint daher nur ein unzweideutiger Versuch am Lebenden die Frage zum Abschluss bringen zu können.

Wegen der Unmöglichkeit den lebenden Oberarm vollständig fixiren und der Schwierigkeit die Bewegungen des Unterarms hinreichend genau registriren zu können, führt nur ein Weg zum Ziel, und dieses ist die Befestigung von Metallstäbchen in den lebenden Knochen selbst und die Messung der Entfernungen und der Winkel zwischen denselben in den verschiedenen Stellungen.

Solche Versuche habe ich zwei gemacht, an mir selbst und an einem andern männlichen Individuum. — Unter Cocainanæsthesie und den strengsten antiseptischen Cautelen wurde ein fein polirter Stahlnagel in den lateralen Epicondylus, ein anderer in die hintere Seite des Olecranon eingeschlagen. Feinste, c. 25 cm lange Stahlröhren wurden an die Nägeln festgeschraubt, an den Olecranonnagel sogar zwei, eine in der Längsrichtung der Ulna, die andere rechtwinkelig nach hinten. An einem besonders konstruirten Gradbogen, der an dem Epicondylusnagel befestigt wurde, konnte man jede Veränderung in der Lage der Nägel und also auch der Knochen zu einander bis auf etwa $0{,}2^\circ$ genau ablesen.

Die Drehungen des Unterarms wurden in verschiedener Weise ausgeführt, theils in einem das Handgelenk genau umschliessenden Ring (Lecomte), theils mit Fassung eines drehbaren Griffes, von dem aus ein wechselnder Widerstand ausgeübt werden konnte u. s. w.

Es zeigte sich jetzt in beiden Fällen, dass bei jeder Drehung des Unterarms, wo eine seitliche Bewegung des untern Ulnaendes lateral- oder medialwärts vorkam, eine entsprechende Rotation des Humerus in derselben Richtung ausgeführt wurde. Die Winkel zwischen den Nägeln, an denen man die Lagenveränderungen der Ulna ablesen konnte,

blieben bei den Bewegungen nie vollständig unverändert. Eine Drehung und eine seitliche Bewegung der Ulna war also deutlich vorhanden. Die letztere war aber bei weitem nicht hinreichend gross, um die Lagenveränderung des Capitulum ulnæ erklären zu können, und was wichtiger ist, beide Bewegungen gingen in einer Richtung, die der von Heiberg u. a. angegebenen entgegengezetzt war.

Von dem letzten Versuch, bei dem ich eine grössere Anzahl Messungen ausführte und mit dem auch der erste in allem Wesentlichen übereinstimmt, werde ich einige Zahlen anführen.

Die untenstehende Tabelle zeigt die Winkelwerthe der seitlichen und rotatorischen Abweichungen der Ulna bei ruhiger Supination des Vorderarms. Die Hand war diesmal an ein um eine verstellbare Achse drehbares Brettchen festgebunden, um die Störungen durch die Kontraktionen der Hand- und Fingermuskeln möglichst auszuschliessen.

Tab. 4. **Die Bewegungen der Ulna bei Supination des Unterarms.**

	I.		II.		III.	
	Mittlerer Winkelwerth (Max. u. Min.)	Anzahl Ablesungen	Mittlerer Winkelwerth (Max. u. Min.)	Anzahl Ablesungen	Mittlerer Winkelwerth (Max. u. Min.)	Anzahl Ablesungen
Drehung der Ulna in pronator. Richtung ...	2.43° (2,2°—2,7°)	6	1,86° (0,5°—2,8°)	7	1,39° (0,9°—1,6°)	4
Bewegung der Ulna in abduktor. Richt.	2,18° (0,9°—2,7°)	7	1,87° (1,6°—2,2°)	6	2,25° (2,1°—2,5°)	5

Die Zahlen der Kol. I entsprechen einer Drehungsachse, die durch den ersten Metacarpalzwischenraum ging, der Kol. II einer durch den dritten Zwischenraum und der Kol. III einer Achse durch den kleinen Finger. Wir ersehen aus denselben, dass sich die Ulna bei der Supination immer in pronatorischer Richtung drehte, und zu gleicher Zeit auch in abduktorischer Richtung abwich. Der mittlere Winkelwerth war in allen Lagen der Achse und für beide Bewegungen ziemlich derselbe, rund 2°; dieses auch, wenn die Achse durch den ersten Metacarpalraum ging und also die absolute Lagenveränderung des untern Ulnaendes möglichst gross war. Die Schwankungen der Zahlen der einzelnen Ablesungen waren dagegen, wie aus den Minimal- und Maximalwerthen hervorgeht, etwas grösser. Bei der Pronation kehrten die Nadeln wieder an ihren früheren Standpunkt zurück.

Aus diesen Versuchen scheint mir also bestimmt hervorzugehen, dass eine Betheiligung der Ulna an den Supinationsbewegungen in der Weise, wie bisher von vielen Autoren angenommen wurde, nicht vorhanden war.

Die kleinen Bewegungen, die konstant vorkamen, scheinen mir lediglich als Wackelbewegungen, die durch die Ungenauigkeit der Gelenkflächen ermöglicht und durch die Muskelaktionen hervorgerufen werden, aufzufassen zu sein. Es liegt nahe an der Hand anzunehmen, dass es der Supinator ist, der durch seinen ulnaren Ursprung und dadurch dass er den hintern Schenkel des Lig. collaterale rad. spannt, die Ulna in pronatorischer Richtung dreht. Bei die Pronation könnte es der Pronator quadratus sein, der die Ulna in der entgegengesetzten Richtung rotirt.

Die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Versuche und bei allen Veränderungen der Versuchsanordnung macht es äusserst wahrscheinlich, dass diese Ergebnisse nicht nur den vorhandenen individuellen Verhältnissen entsprechen, sondern als ziemlich typisch angesehen werden können.

Es müssen solchergestalt drei verschiedene Gelenke an der gewöhnlichen Supination und Pronation des Unterarms betheiligt sein. Die Drehung des Radius gegen die Ulna geschieht im Radioulnargelenk; die kleine Circumductionsbewegung der Ulna, wodurch die Drehungsachse beliebig in die Mittellinie der Hand oder anderswohin verlegt wird, geht aus einer Extension-Flexion in dem Humeroulnargelenk und einer Einwärts- oder Auswärtsrotation des Schultergelenks hervor.

Ein kleines Schlottern des Ellenbogengelenks in seitlicher Richtung kann man am Lebenden oft konstatiren, namentlich bie der passiv gestreckten Lage des Unterarms; besonders deutlich fand ich dieses bei zwei männlichen Individuen, wo das Gelenk eine kleine Hyperextension erlaubte, wo also wahrscheinlich das Olecranon kleiner als gewöhnlich oder auch die Fossa olecrani besonders gross war. Diese Wackelbeweglichkeit des Gelenks, die deutlich aus dem oben beschriebenen Versuche über die Rotationsbewegungen hervorging, kann vermuthlich auch bei anderen Muskelaktionen kleine Abweichungen von dem eigentlichen Bewegungstypus erlauben. So z. B. finde ich es nicht unwahrscheinlich, dass die Bahn, die der Unterarm bei der Beugung durchläuft, mit der bei Streckung durchlaufenen nicht ganz identisch ist. — Dagegen sehe ich keinen Grund, wirklich typische Bewegungen, deren Umfang und Form willkürlich bestimmt werden könnten, innerhalb des Spielraumes dieser Wackelbeweglichkeit zu verlegen.

DRITTER ABSCHNITT.

Die Entwickelung des menschlichen Ellenbogengelenks.

Kap. I. Die embryonale Entwickelung.

In ihren Untersuchungen über die Entwickelung der Gelenke haben sowohl Henke und Reyher (54), wie Schulin (56) dem Ellenbogengelenke eine besondere Beachtung geschenkt. Sie hatten aber hauptsächlich das Ziel, die allgemeinen Gesetze der ersten Gliederung der Skelettanlage und der Entwickelung der Gelenkflächen zu erörtern, weshalb verschiedene Fragen, die das Ellenbogengelenk allein berühren, von ihnen nur ganz beiläufig behandelt wurden. Es schien mir deshalb wünschenswerth, die Formentwickelung dieses Gelenks etwas genauer zu verfolgen.

Um nicht Gefahr zu laufen, rein individuelle Verhältnisse zu generalisiren, was nur zu oft gethan worden ist, habe ich ein möglichst grosses Material behandelt. Für das Studium der frühesten Entwickelungsstadien konnte ich 13 Embryonen, deren Kopfrumpflänge von 1,0 —7,0 cm wechselte, mikroskopisch untersuchen. Von denselben habe ich 24 Arme nach Hämatoxylin-Eosinfärbung und Paraffineinbettung in Serienschnitte von 20—30 μ. Dicke nach den drei Hauptrichtungen zerlegt.

Die spätere embryonale Umbildung von 10,0 cm Gesammtlänge (7,0 cm Kopfrumpflänge) an bis zur vollen Reife habe ich durch makroskopische Präparation von 14 Armen verschiedener Grösse studirt.

Bei dem jüngsten, 1,0 cm langen Embryo waren in der sonst ziemlich gleichmässigen Zellenmasse der vordern Extremität, wo nur die mächtigen Anlagen der Nervenstämme hervortraten, hellere Streifen zu unterscheiden, die augenscheinlich den Skelettanlagen des Humerus und der beiden Unterarmknochen entsprachen. Dieselben waren von dem umgebenden Blastem durch eine etwas dunklere, kernreichere Zone begrenzt. Von bestimmten Konturen der Knochen und ihrer Gelenkflächen konnte keine Rede sein.

Schon bei den zwei 4,0 und 4,2 cm messenden Embryonen, wo eben die Verknöcherung der Ober- und der Unterarmknochen begonnen hatte, fand ich schon alle wichtigeren Theile des Ellenbogengelenks deutlich differentirt. Die scharf begrenzten Knochenenden, die schon eine sehr typische Gestalt hatten, waren durch eine Gelenkspalte vollständig von einander getrennt. Die von dem perichondrialen Gewebe sich fortsetzende Gelenkkapsel war an vielen Stellen von den umgebenden Weichtheilen deutlich abgegrenzt, und die Muskeln, die man unschwer von einander unterscheiden konnte, hatten schon eine ziemlich karakteristische Lage und Form.

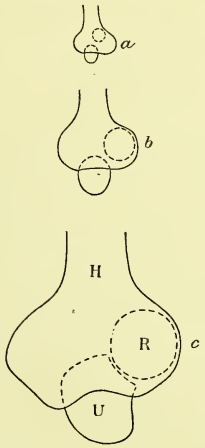


Fig. 21.

Es ist also hauptsächlich im zweiten Monat des Embryonallebens, wo das Ellenbogengelenk die wichtigsten Stadien seines Werdens durchläuft. Die nach dieser Altersstufe stattfindende Entwickelung ist, mit Ausnahme der Verknöcherung der Gelenkenden, eigentlich nur quantitativer Art, nur eine Veränderung der absoluten und relativen Grössenverhältnisse.

Wenn wir die Umgestaltungen des Gelenks während der gesagten Altersperiode etwas näher verfolgen wollen, haben wir zuerst die gegenseitigen Lagenveränderungen und die Formbildung der betreffenden Skelettheile zu betrachten.

Wenn das Armskelett angelegt wird, bildet der Unterarm mit dem Oberarm einen Winkel, der ungefähr 90° beträgt. Die individuellen Schwankungen scheinen einen Spielraum von etwa 20° nach jeder Seite hin zu haben. Diese mittlere Lage zu einander behalten die Segmente, bis die Bewegungen anfangen, aber auch später bleibt diese die Ruhelage der Extremität. Die Unterarmknochen (oder, richtiger, die Unterarmknorpel) divergiren anfangs stark von einander, so dass an der Handwurzel ein breiter Zwischenraum entsteht; sie sind auch etwas von einander abbiegend gekrümmt. Erst allmählich, und zwar gegen das Ende des dritten Monats, werden sie einander ziemlich paralell.

Die Angabe von Henke und Reyher, dass das obere Radiusende im zweiten Monat mehr vor, als neben der Ulna liegt, kann ich vollkommen bestätigen. Die Fig. 21 *a—c*, die nach Konstruktionszeichnungen zusammengestellt sind und die auf das untere Humerusende

projicirte Lage der Unterarmknorpel, 15 mal linear vergrössert, wiedergeben, zeigen das Verhalten bei Embryonen von 1,25, 1,7 und 4,0 cm Länge. Beim ersten *(a)* liegt der Radius beinahe gerade vor der Ulna und in einiger Entfernung von ihr, um beim zweiten *(b)* mehr lateralwärts zu rücken; beim dritten *(c)* haben die Knochen schon ziemlich dieselbe Lage zu einander wie beim Erwachsenen; wäre nur der Kronenfortsatz (punktirte Linie) etwas grösser, so würde die Übereinstimmung fast vollkommen sein. Dass diese ontogenetisch ursprünglichere Lage der Unterarmknochen bei vielen Thieren vorkommt und wahrscheinlich auch in der Phylogenie die ursprünglichere ist, werde ich unten zeigen.

Eine weitere Thierähnlichkeit ist der kleine Torsionswinkel des Humerus. Henke und Reyher haben nämlich auch hervorgehoben, dass eine Ebene durch die Achse des Caput humeri die Bewegungsachse des Ellenbogengelenks in einem rechten Winkel schneidet; wenn auch meine Schnitte keine absolut beweisende Bilder gaben, sprechen sie doch stark für die Richtigkeit dieser Angabe.

Was die Form der Knochenanlagen betrifft, so muss man in diesen ersten Stadien die Schlüsse äusserst vorsichtig aus dem Befunde ziehen. Sehr oft sieht man in der Gestalt der Knorpel Unregelmässigkeiten, die bei verschiedenen Embryonen nicht in derselben Form wiederkehren: Krümmungen und Verbiegungen der Knochenschäfte, Abflachungen oder Ausbuchtungen der Gelenkflächen. Die meisten dieser Unregelmässigkeiten scheinen von Spannungen im Gewebe selbst, die entweder durch die intensive Zellenwucherung, oder vielleicht auch durch die Manipulationen und die Einwirkung der chemischen Flüssigkeiten bei der Präparation herrühren, bedingt zu sein. Eben da, wo sich im Schafte eines Knochens eine besonders starke Zellenproliferation in der Ausscheidung der Zwischensubstanz, in der Abplattung der umgebenden Zellen u. s. w. kund giebt, treffen wir solche Verbiegungen am häufigsten. Wenn Henke und Reyher z. B. bei einem 1,8—2,2 cm langen Embryo eine starke Tuberositas radii zu sehen glaubten und auch in ihren Abbildungen wiedergeben, so ist dieses entschieden ein ganz zufälliger Befund der genannten Art.

Die beim 1,0 cm langen Embryo so unbestimmte Begrenzung der Skelettanlagen wird bald viel schärfer. Die Hauptmasse dieser Anlagen bekommt mehr und mehr das typische Aussehen des embryonalen Knorpelgewebes, und der dunklere Saum, der sie von der Umgebung trennt, zeigt immer deutlicher eine koncentrische Anordnung der Zellen und ein mehr faseriges Aussehen.

Die Form des untern Humerusendes bei Embryonen von 1,25 cm Körperlänge zeigt Fig. 21 *a*. Der oben ziemlich cylindrische Schaft, der etwas stärker als die Skelettanlagen des Unterarms ist, wird nach unten

breiter und sendet nach den Seiten zwei plumpe Epicondylen aus, von denen der laterale stärker hervorragt und auch von vorne nach hinten etwas dicker ist. Die Endfläche hat eine nur schwach eingesenkte Trochlea, und weder eine Fossa olecrani, noch eine F. coronoid. ist zu bemerken. — Der hauptsächliche Umbildungsprocess des Humerus im zweiten Monat des Foetallebens umfasst theils einen stärkeren Zuwachs des medialen Epicondylus, theils eine genauere Modellirung der Gelenkfläche; an dieser sehen wir zu dieser Zeit eine schwache Führungsleiste auftreten, die das Capitulum und die Trochlea von einander trennt. Auch bleibt das Wachsthum des unmittelbar oberhalb der Trochlea liegenden Theiles des Schaftes etwas zurück, wodurch eine Andeutung von Gelenkgruben gebildet wird; an den Querschnitten sieht man doch nur an der hintern Seite eine seitliche Begrenzung der Grube; an der vordern Seite entspricht die am Sagittalschnitt sichtbare Einsenkung eher einer querlaufenden, lateralwärts etwas tieferen Rinne.

Die Unterarmknorpel haben in ihren mittleren Theilen ziemlich dieselbe Stärke; die Querschnitte beider sind schon anfangs oval und ihre längeren Durchmesser liegen in derselben Ebene oder auch bilden sie einen volarwärts offenen, sehr stumpfen Winkel. Schon bei dem 1,5 cm langen Embryo ist der Kopf des Radius um $^1/_6$, später sogar um $^1/_4$ dicker als der Schaft. Der Kopf hat einen beinahe kreisrunden Querschnitt, der bisweilen den der Ulna in derselben Höhe nicht unwesentlich übertrifft. Der Ulna liegt das Capitulum radii jetzt dicht an; die indifferente Zwischensubstanz ist geschwunden, und nur eine dünne Zone stark zugeplatteter, kleiner Zellen trennt die beiden Knorpel von einander.

Die Ulna wird nach oben bedeutend stärker. Die Incisura semilun. umfasst bei 1,4—2,0 cm langen Embryonen kaum mehr als einen rechten Winkel. Das Olecranon und der Kronenfortsatz ragen etwa gleich weit volarwärts hervor; der Krümmungsradius der Incisur ist etwas grösser, als der der Trochlea, wodurch die Spitzen des Olecranon und des Kronenfortsatzes von der Trochlea durch eine etwas dickere intermediäre Schicht getrennt sind. Schon beim 3,0 cm langen Embryo umfasst die Incisur einen Bogen von beinahe 180°; sie liegt in ihrer ganzen Ausdehnung der Trochlea dicht an, und der Kronenfortsatz, der jetzt nach der volaren Seite stärker hervorragt, scheint mehr als das Olecranon gewachsen zu sein [1]). Wenn die Anlagen der Unterarmknochen sich einander nähern, wird die gegen ihm gekehrte Seite der Ulna von

[1]) Genauere Angaben über die Krümmung der Flächen in ihren verschiedenen Partien scheinen mir bei den häufigen individuellen Wechselungen und den Verunstaltungen der Flächen ohne Zweck zu sein. Jedenfalls wäre ein noch grösseres

dem Radiuskopf etwas zugeplattet (Embr. 1,7 cm) oder sogar konkav eingedrückt (Embr. 2,5 cm), wodurch eine Incisura radialis entsteht. Der Radiuskopf ruht dabei hinten auf einem kleinen Vorsprunge der Ulna.

Ehe sich eine wirkliche Gelenkspalte zwischen den Knorpelenden bildet, sieht man oft in der intermediären Schicht einen schmalen helleren Streifen, der sich bei stärkerer Vergrösserung als aus einer Verflüssigung oder einer reichlicheren Ausscheidung von Intercellularsubstanz herrührend erweist. Eine solche hellere Linie war schon beim 1,4 cm. langen Embryo deutlich zu sehen und noch beim 2,5 cm langen Embryo vorhanden. Dagegen waren bei einem Embryo von 2,0 cm Länge schon feine Spaltbildungen eingetreten, und bei einer Körperlänge von 3,0 cm und darüber waren solche konstant. Bei 4,2 cm Länge des Embryo bildeten diese Spalten eine die Gelenkflächen vollständig umfassende Höhle, und dieses scheint von nun an die Regel zu sein[1]). Nach meinen Präparaten zu urtheilen, fängt die Spaltbildung zuerst im mittleren Theil der Incisura semil. und in der Mitte der Fovea radii an; an der Circumferentia cap. rad. sah ich die Spalte früher an der lateralen, als an der medialen Seite auftreten.

Dass die Lösung der Knorpelenden von einander zum grossen Theil in den Bewegungen der Frucht, wofür sich auch die angeführten Autoren aussprechen, ihren Grund haben muss, scheint mir offenbar zu sein. Die Entwickelung der kontraktilen Substanz und die Sonderung der Muskelanlagen in bestimmte Gruppen fällt zeitlich mit dieser Spaltbildung zusammen. Doch dürften hierbei wohl auch Wachsthumsverschiebungen eine nicht unwichtige Rolle spielen. Bei der verschiedenen Intensität des interstitiellen Wachsthums der Knorpelenden muss eine beträchtliche Verschiebung der Theile gegen einander besonders da

---

Material als das meine und eine äusserst delikate Bewahrung und Behandlung desselben nöthig, um die Resultate glaubwürdig zu machen.

[1]) A priori scheint es, als könne die Entscheidung, ob eine Gelenkspalte vorhanden ist oder nicht, keinen Schwierigkeiten begegnen. In diesem Stadium ist sie aber nicht leicht. An einem Schnitte der Serie findet man vielleicht gar keine Spalte an der Stelle, wo die beiderseits zunächst liegenden Schnitte unzweifelhaft eine solche zeigen. Haben in diesem Falle die Manipulationen eine künstliche Trennung in den letzteren Schnitten bewirkt, oder haben sich nur die freien Ränder des ersteren Schnittes so genau an einander gelegt, dass sie eine wirkliche Kontinuität des Gewebes vortäuschen? Bisweilen kann man durch eine genaue Untersuchung bei stärkerer Vergrösserung konstatiren, dass die an einander geschmiegten Ränder nicht in derselben Ebene liegen. Oft aber, namentlich dann, wenn der Schnitt nicht die Gelenkfläche unter rechtem Winkel trifft, ist die Beantwortung dieser Frage äusserst schwierig.

Schulin (56) sah bei einen 7 cm langen Foetus die Gelenkflächen der Incisura semil. und der Trochlea in der Mitte zusammenhängen. Es scheinen also auch hier höchst bedeutende individuelle Wechselungen vorzukommen, oder es werden die Ergebnisse von der verschiedenen Behandlung des Materials äusserst stark beeinflusst.

eintreten, wo die Begrenzungsfläche stärker gekrümmt ist; dieses dürfte leicht an der Stelle, wo die Widerstandsfähigkeit der Zellen, schon nach ihrer Form zu urtheilen, geringer ist, d. h. in der Zwischenzone, zu einer Kontinuitätstrennung führen.

Eine Andeutung einer Kapselbildung, in der Form einer Verdichtung des perichondrialen Gewebes, die die Knorpel mit einander verbindet, ist schon bei einer Körperlänge von 1,8 cm. stellenweise zu sehen. Bei der Bildung der Gelenkspalte bleibt in dem spitzen Winkel zwischen dem abgerundeten Rande des Radiuskopfes und dem Capit. humeri von der intermediären Schicht ein schmaler, auf dem Querschnitte dreieckiger Saum zurück, der von der Innenseite der Kapselanlage in das Gelenk hineinragt und seine Verbindung mit dem Radiuskopf gewöhnlich etwas später als mit dem Humerus löst und der dem an dieser Stelle des erwachsenen Gelenkes vorhandenen Synovialfortsatz entspricht. Auch an anderen Stellen des Gelenks finden wir derartige Reste der Zwischenlage. Der Vorgang stimmt mit der durch die Untersuchungen von Bernays (53) bekannten Entwickelung der Hilfsapparate im Kniegelenk vollständig überein.

Aus dieser Periode der Entwickelung ist noch zu verzeichnen, dass die Bicepssehne schon bei 2,0 cm langen Embryonen deutlich zu sehen ist und bei einer Körperlänge von 4,0 cm eine Spalte zwischen ihr und dem Radius auftritt. Von einer Tuberosität sieht man aber nichts; eher ist diese Partie des Radius etwas eingedrückt.

Die von etwa der 8 Woche des Foetallebens bis zur vollen Reife der Frucht sich abspielenden Umbildungen sind von viel geringerem Interesse.

Allmählich nähern sich die Knochenanlagen der definitiven Gestalt. Die früher nur schwach angedeutete Fossa olecrani fängt an, etwas tiefer zu werden, jedoch nicht durch Resorption des Knorpels, sondern nur durch eine geringere Wachstumsintensität. Die Dicke der Knorpelwand zwischen den beiden Gruben beträgt in der Mitte des Embryonallebens etwa zwei Drittel, beim Neugebornen nur wenig mehr als die Hälfte des Trochleadurchmessers. Der mediale Epicondylus wird etwas schärfer, der untere Theil des Schaftes platter und breiter. — Eine Einkerbung am medialen Rande der Incisura semilun. sah ich schon bei einem Embryo von 5,2 cm Länge. Der Radiuskopf wird von dem Schafte etwas deutlicher abgesetzt, und unter der Bicepssehne fängt in den letzten Monaten eine Tuberositas radii an, sich anzulegen.

Die Kapsel wird von den umgebenden Theilen deutlicher abge-

grenzt, und starke Bindegewebsfasern legen sich als verstärkende Bänder an ihrer Aussenseite an. Aus den obengenannten Resten des indifferenten Gewebes, das ursprünglich die Skelettenden mit einander verbindet, gehen jetzt die Synovialfalten und -fortsätze hervor. Dieselben werden mit Gefässen versehen und vergrössern sich, einige sogar in Proportion mehr, als die übrigen Theile des Gelenks. Beim Neugebornen tritt besonders die starke Ringfalte zwischen dem Radiuskopf und dem Capit. humeri hervor, die sich mit ihrem zerschlitzten, freien Rande gewöhnlich halbwegs bis an die Mitte der Fovea cap. rad. oder bisweilen noch etwas weiter erstreckt. In situ gehärtet, gleicht sie vollständig einem Meniscus; sie ist aber nur von sehr lockerem, gefässreichen Bindegewebe gebildet und kann also schwerlich die einem Zwischenknorpel obliegenden Funktionen erfüllen. Die Falten längs der Seitenränder der Incis. semil. und die Synovialfortsätze in den Einkerbungen sind relativ schwächer entwickelt.

Das von der Fossa coronoidea und der Fossa olecrani auf der vordern und hintern Seite der Trochlea hinabziehende subsynoviale oder perichondrale Gewebe, das wir schon vom Ellenbogengelenke des Erwachsenen kennen, ist in der spätern Hälfte des Foetallebens und auch in den ersten Lebensjahren sehr deutlich zu sehen.

Über seine nähere Anordnung und seine Bedeutung geben uns Sagittalschnitte durch die Trochlea Aufschluss. Bei grösseren Embryonen und bei Kindern können wir schon mit dem unbewaffneten Auge, in früheren Stadien mittels der Lupe oder dem Mikroskop eine ziemlich dicke Lage perichondralen Bindegewebes sehen, das sich an der hintern Seite oft bis auf die halbe Höhe der Trochlea hinab erstreckt, wo es mit einem scharfen Rande endigt, vorne dagegen an der Oberfläche gewöhnlich etwas früher aufhört, sich dann aber, immer dünner werdend, eine kleine Strecke in den Knorpel hinein fortsetzt. Diese bindegewebige Schicht erhebt sich sowohl vorne, wie hinten kaum über die Oberfläche der Trochlea, in welche sie gleichsam eingelassen ist. Von ihrem untern Rande ziehen ziemlich starke Gefässe centralwärts in den Knorpel hinein, um sich in seiner Mittelpartie zu begegnen und sich hier zu verzweigen.

Dass die für die Ernährung und den Zuwachs der Epiphyse nöthige Blutversorgung das ursächliche Moment für diese Ausbreitung des Bindegewebes auf Theile der Knorpeloberfläche bildet, die zur Artikulation hätten dienen können, erscheint mir äusserst plausibel. Die Gefässvertheilung ihrerseits kann wohl nur mit dem von Hammar (75) u. a. angenommenen expansiven Wachsthum des hyalinen Knorpels, das bei der vorhandenen Gestalt der Epiphyse beinahe nach allen Seiten hin gleichförmig geschehen muss, in Zusammenhang stehen. Wenn

der Blutstrom in der genannten Weise gegen das Centrum des Knorpels geleitet wird und hier dem von der andern Seite kommenden Strome begegnet, muss dieses nämlich an dieser Stelle eine reichlichere Ernährung und einen stärkeren hydrostatischen Druck zur Folge haben. Wenn später einerseits der in der Epiphyse gebildete Knochenkern mit der Diaphyse verschmilzt und Verbindungen ihrer Gefässbahnen eintreten, anderseits der Nahrungsbedarf der Gewebe mit dem Aufhören des Zuwachses geringer wird, können diese Blutbahnen verödet oder wenigstens stark reducirt verden. Eine Synovialfalte am untern Ende der Fossa coron. bleibt jedoch immer zurück, und bisweilen sind auch beim Erwachsenen an der Grenze des Gelenkknorpels ein oder ein paar Ernährungslöcher zu sehen. An der hintern Seite scheint sich ein Knorpelüberzug über die früher vom Bindegewebe bedeckte Fläche auszubreiten, wo er sich später an einer bisweilen sehr deutlich begrenzten Partie viel dünner als anderwärts an der Trochlea zeigt.

Der Knorpeldefekt der Incisura semilun. dürfte wahrscheinlich auf ähnliche Ursachen zurückzuführen sein. Gerade an dieser Stelle habe ich bei jüngeren Embryonen relativ starke Gefässe in den Knorpel hineintreten sehen. Bald nähert sich aber die Ossificationsgrenze der Diaphyse diesem Punkte, und dann lässt sich die Entwickelung und das Geschick dieser Gefässe nicht weiter verfolgen [1]).

Bei Embryonen aus den letzten Monaten und bei Neugebornen habe ich ausser der konstanten Bicepsbursa hin und wieder kleine, aber deutlich entwickelte Schleimbeutel unter den Muskelsehnen angetroffen, und zwar in der Tricepssehne 4 Mal, unter den Extensoren, unter dem Anconæus und hinter dem Epicond. med. je 1 Mal. Andeutungen von Schleimbeuteln waren noch öfter vorhanden. Ich stelle mich also in einen bestimmten Widerspruch zu Gruber (74), der in seiner Monographie das Vorkommen jeder anderen als der Bursa bicipit. während des Embryonallebens bestreitet. — Subcutane Schleimbeutel fand ich nicht.

[1]) Vermuthlich würde eine auf die übrigen Gelenke des menschlichen Körpers ausgedehnte Untersuchung, inwiefern sich allgemeine Gesetze für die Gefässvertheilung in den Epiphysenknorpeln, für das Verhalten der Gefässe zu der Form und den Wachsthumsveränderungen der Gelenkflächen u. dgl. aufstellen lassen, von grossem Interesse sein. Mir hat bis jetzt die Gelegenheit gefehlt, auf diese Fragen näher einzugehen.

Kap. II. Die postembryonale Entwickelung.

Für die Umbildungen des Ellenbogengelenks nach der Geburt stand mir nur ein beschränktes Material zu Gebote. Aus den ersten drei Lebensjahren verfügte ich zwar über vierzehn Gelenke, aus den späteren Kinder- und Jugendjahren bis zum 20. Jahre konnte ich aber nur zwei Ellenbogengelenke aus dem 14. und 15. Lebensjahre bekommen. Aus der Betrachtung des Anfangspunktes und des Zieles der postembryonalen Entwickelung kann man jedoch in Betreff der Bahn, der diese Entwickelung folgt, einen Schluss zu ziehen wagen; an den wenigen mir zugänglichen Zwischenstufen habe ich natürlich die Richtigkeit der gezogenen Schlüsse kontrollirt.

Das Ellenbogengelenk des Neugebornen unterscheidet sich von dem des Erwachsenen hauptsächlich durch eine geringere Tiefe der Gelenkgruben, eine nach innen weniger breite Trochlea und eine entsprechend schmälere Incisura semil., einen kleineren Radiuskopf und ein schwächeres Lig. annulare. Ausserdem ist der Torsionswinkel beim Neugebornen kleiner als beim Erwachsenen.

Betrachten wir die genannten Merkmale etwas näher, so finden wir, dass die Fossa olecrani, wie von mehreren Autoren hervorgehoben wird, beim Neugebornen bei weitem nicht so tief wie beim Erwachsenen und die F. coronoidea bei jenem nur schwach angedeutet ist. Relativ besser entwickelt ist das Olecranon selbst, wodurch natürlich eine Hemmung bei der Streckung beim Neugebornen früher als beim Erwachsenen eintreten muss. Oft kann man das Ellenbogengelenk eines grösseren Foetus oder eines Neugebornen auch nach Wegnahme der Muskulatur nur bis zu einem Winkel von 150—160° strecken. Der Winkel der stärksten Beugung scheint mir dagegen dem des Erwachsenen ziemlich nahe zu stehen und c. 40° zu betragen.

Dass bei der Vertiefung der Gruben eine wirkliche Knochenresorption stattfindet, geht deutlich daraus hervor, dass die Knochenlamelle, die beim Erwachsenen die Gruben von einander trennt, die Dicke derselben Knochenwand beim Neugebornen, wo sie bis zu $4^1/_2$ cm betragen kann, in der Regel nicht erreicht. Der Reiz zu dieser Resorption kann nur in dem Anstoss der Knochenfortsätze bei extremen Bewegungen liegen. Eigenthümlich erscheint es immerhin, dass diese nicht öfter

eintretende Druckwirkung einen Knochenschwund veranlassen kann; der Vorgang kann jedenfalls nicht mit den Druckusuren eines pulsirenden Aneurysma o. dgl. gleichgestellt werden.

Die geringere Breite der Trochlea sowie der unteren Partie der Incis. semilun. erwies sich bei Messungen als von einer geringeren Entwickelung der medialen Randzonen der Gelenkflächen bedingt; eine Randzone ist nämlich bei der Geburt kaum vorhanden; die mediale Begrenzung der Trochlea läuft beinahe paralell der Bewegungsebene. Der konsolenartige Vorsprung an der medialen Seite des Processus coronoideus tritt auch sehr wenig hervor. Selbstverständlich ist es, dass später die mit den wachsenden Anforderungen auf das Gelenk gleichzeitige Breitenzunahme der Gelenkflächen die Resistenz des Gelenkes gegen seitliche Einknickung vermehren muss. — Der mediale Epicondylus ist beim Neugebornen etwas weniger hervorragend, aber dicker und plumper als beim Erwachsenen. Erst mit dem Fortschreiten der Verknöcherung in den Epicondylus hinein bekommt er die scharfe charakteristiche Gestalt.

Die Gelenkfläche des Radiuskopfes hat beim Neugebornen ziemlich dieselbe Form wie beim Erwachsenen; dagegen ist beim ersteren der Kopf weit weniger scharf gegen den Schaft des Knochens abgesetzt. Die gegen die Ulna gekehrte, zur Artikulation dienende Seitenfläche liegt beinahe in derselben Flucht wie die mediale Seite des Schaftes, und am lateralen Theil findet der Übergang vom Halse zum Kopfe nur sehr allmählich statt. In den ersten Lebensjahren ändert sich das Verhalten hierin nur sehr wenig. — Kommt nun noch hierzu, das die ganze Kapsel, namentlich aber das Lig. annulare, in diesem Alter viel schwächer und nachgiebiger ist, so lässt es sich leicht einsehen, dass in dem kindlichen Ellenbogengelenke eine Prädisposition für ein Herausschlüpfen des Radiuskopfes aus dem Bande bestehen muss.

Die praktische Bedeutung dieser Verletzung und der Umstand, dass nur eine mehr eingehende Betrachtung der anatomischen Verhältnisse den Mechanismus der Reposition derselben aufklären kann, möge ein kleine Abweichung von meinem Thema entschuldigen.

Über die diese Verletzung hervorrufende Ursache, ein kräftiger Zug an der Hand des Kindes mit oder ohne eine gleichzeitige Rotation des Armes, sind wohl die Ansichten der Chirurgen einig, nicht so aber über das wahre Wesen der dadurch am häufigsten hervorgerufenen Folgen. Die verschiedensten Erklärungen derselben, von einer Läsion im distalen Radioulnargelenk bis zu einem Muskelriss oder einer Nervenverletzung, von einer intraartikulären Fraktur oder einer Ruptur der Kapsel bis zu einer hysterischen Erscheinung, sind gegeben worden. — Der wahre Sachverhalt ist schon von verschiedenen Autoren eingesehen und auch von etlichen (Schüller 89, v. Santvoord 88, u. a.) durch Versuche an Leichen bestätigt worden. Viele Hand- und Lehrbücher der Chirurgie und der Pädiatrik halten dessenungeachtet diese Frage

noch immer offen, was nur darauf beruhen kann, dass die gewöhnlich so äusserst leichte Reposition der Luxation beim ersten Anblick gar zu räthselhaft erscheint. Einen aus der elastischen Schlinge des Ringbandes ausgetretenen Radiuskopf wieder hineinzuzwingen, scheint doch keine leichte Aufgabe zu sein.

Bei mehreren Versuchen an Armen von Kinderleichen aus den drei ersten Lebensjahren und an Leichen von Neugebornen gelang es mir, mit Ausnahme eines einzigen Falles, immer, eine Subluxation des Radiuskopfes aus dem Lig. annulare heraus durch einen einfachen Zug an dem Radius hervorzurufen und ihn dann gewöhnlich schon durch eine einfache Supination wieder zu reponiren. Der Versuch konnte an jedem Präparate beliebig oft (bisweilen c. 50 Mal) wiederholt werden. Sowohl die Luxation, wie die Reposition geschah oft mit einem kleinen, hörbaren Knall, beinahe immer mit einem fühlbaren Ruck und augenscheinlich in ganz derselben Weise, wenn der Arm intakt war, wie wenn die Haut und Muskulatur von ihm abgelöst oder sogar die Unterarmknochen im mittleren Theil durchsägt waren. Nur war im letzten Falle weniger Kraft nöthig, um die Luxation hervorzurufen, was natürlich in der Festigkeit der Membrana interossea und der untern radioulnaren Verbindung seinen Grund hat [1]).

Die Lage der Theile zu einander und die Bedingungen der Repositionsmöglichkeit konnten unter solchen Umständen ziemlich leicht durch direkte Präparation von aussen untersucht werden. Die Veränderungen im Innern des Gelenks suchte ich in der Weise zu fixiren und der Untersuchung zugänglich zu machen, dass ich den nur der Haut beraubten Arm, in luxirter Stellung, über das Gelenk hinaus eingipste und dann in Formalin härtete. Die Festigkeit der Gewebe wurde hierdurch völlig hinreichend, um den Humerus von oben stückweise heraus zu präpariren, bis das Innere des Gelenks offen lag.

Beim Zuge nach unten schlüpft der Radiuskopf in der That aus der Schlinge des Lig. annulare, dessen schwächerer vorderer lateraler Theil (d. h. die Bogenfasern, die die beiden Schenkel des Lig. collat. rad. mit einander verbinden) sich gewöhnlich ohne Kapselriss ausdehnt und über den Rand des Radiuskopfes hinaufgleitet, heraus. Durch den Luftdruck und durch die Spannung der Fasern senkt sich die vordere Wand der Kapsel, weniger die hintere, in einer Falte in die klaffende Spalte zwischen den Gelenkflächen hinein, sodass man an dem erwähnten eingegipsten Präparate von oben nur einen schmalen transversalen Streifen des Radiuskopfes sehen kann. Beim Nachlassen des Zuges bleibt der Radiuskopf nach unten und gewöhnlich auch etwas nach der vordern und lateralen Seite dislocirt stehen, von der Spannung der Verbindungen in seiner Lage gehalten. Der vordere Schenkel des Lig. collaterale rad. kreuzt schräg den vordern Rand des Radiuskopfes ziemlich an dessen Mitte. Dieses scheint das typische Verhalten zu sein; kleinere Abweichungen können jedoch vorkommen.

Die Reposition gelang in der Mehrzahl der Versuche weder durch Auf-

[1]) An einem Arme gelang die Subluxation erst, nachdem die ungewöhnlich starke Chorda tendinea durchschnitten war. An einem andern wurde der Radiuskopf zwar leicht subluxirt, kehrte aber beim Nachlassen des Zuges wieder in seine normale Lage zurück; erst als der Supinator abgelöst war, blieb die Subluxation bestehen. In beiden Fällen konnte sie in der typischen Weise reponirt werden.

hebung des Luftdruckes mittels Öffnung der Kapsel, noch durch Drücken des Radius nach oben, auch nicht durch forcirte Extension oder Flexion, sondern nur durch eine Drehung des Radius in supinatorischer oder in pronatorischer Richtung, das letztere in der Regel ein wenig schwierigcr. In solcher Weise ging es aber gewöhnlich spielend leicht, namentlich wenn der Radius gleichzeitig ein wenig nach hinten (und medialwärts) gedrückt wurde. — In einem Falle war gewöhnlich jede kleine Bewegung des Gelenks, gleichgültig in welcher Richtung, hinreichend, um den Radius in seine normale Lage zurückschnellen zu lassen. Anderseits traf es auch nach vielen Versuchen mit einem Gelenke, also wenn die Kapsel und die Bänder ausgedehnt waren und ihre Elasticität eingebüsst hatten, ein, dass die Reposition etwas grössere Schwierigkeiten bereitete.

Die Wirksamkeit der Rotationsbewegungen für die Reposition hängt vor allem davon ab, dass die schlaffe Partie der Kapsel, die das Ringband nach unten mit dem Radiushalse vereinigt, durch jede Drehung gestreekt und bei stärkerer Bewegung auch gespannt wird. Die Ansatzpunkte der Kapsel, die in einer mittleren Rotationslage in unmittelbarer Nähe bei einander liegen, müssen ja bei jeder Veränderung der Lage von einander entfernt werden. Ist nun durch das Aufwärtsgleiten des Ringbandes die entsprechende Partie des untern Kapselabschnittes schon gestreckt, so ist keine grosse Bewegung nöthig, um sie einen schräg nach unten gerichteten Zug auf das Ringband ausüben zu lassen. Auch ein anderer Faktor scheint hierbei zuweilen wirksam zu sein. Die vom vordern Ende nach hinten höher werdende Circumferentia articularis des Radiuskopfes tritt bei der Supination mehr auf der Flexionsseite des Gelenks hervor, wobei sie mit ihrem untern Rand durch eine Art von Keilwirkung den vordern medialen Theil des Lig. annulare nach unten vor sich her schiebt. — Ich werde an dieser Stelle nicht auf weitere Einzelheiten eingehen. Leicht auszuführende Versuche an Leichen können Jedermann eine viel bessere Vorstellung von dem Mechanismus geben, als es mir hier durch viele Worte möglich ist.

Die praktischen Schlüsse ziehen sich von selbst. Aus der Leichtigkeit des Eintretens der fraglichen Subluxation und der leichten Einrenkung derselben an der Leiche lässt es sich vermuthen, dass diese Verletzung viel öfter vorkommt, als gewisse Autoren annehmen, dass sie aber bei weitem nicht immer diagnostisirt wird. — Die Einklemmung der Kapselwand zwischen den Gelenkflächen wird sicherlich ein Drücken des Unterarms gegen den Oberarm schmerzhaft machen, ein Umstand, der sich vielleicht für die Diagnose anwenden liesse. — Bei der Reposition dürfte von einer Supination des Armes bei gleichzeitigem Druck auf die Vorderseite des Radius der beste Erfolg zu erwarten sein; es könnten auch, wenn die Supination nicht sogleich zum Ziele führen sollte, Pronationsbewegungen versucht werden. Für die übliche Extension und Flexion des Armes bei der Reposition konnte ich keine anatomischen Gründe (aber auch keine Gegengründe) finden.

Beim Neugebornen und in den ersten Kinderjahren lassen sich an der Humerusrolle und an der Incisura sigmoidea die oben beschriebenen charakteristischen Spaltrichtungen mit erwünschter Deutlichkeit darstellen; dagegen treten an den kleinen Gelenkflächen des Radiuskopfes und der Incisura radialis öfter unregelmässige Risse des Knorpels anstatt der bestimmten Spalten auf. Dass sich die funktionelle Struk-

tur, die Faserung des hyalinen Knorpels schon in diesem Stadium entwickelt hat, wo die Beanspruchungen noch keine beträchtlichere Grösse erreicht haben, der Zuwachs noch sehr stark ist und die oberflächliche Knorpelschicht der festen Knochenunterlage ermangelt, vielmehr die ganze Epiphyse aus einer scheinbar ziemlich homogenen Knorpelmasse gebildet wird, scheint mir von grossem Interesse zu sein. Sogar in den letzten Monaten des Embryonallebens habe ich bisweilen eine typische Spaltbarkeit der Knorpel gefunden. Vielleicht war nur die Konservirung des Materials (alte Spirituspräparate) daran schuld, dass die Spalten nicht immer deutlich auftraten.

Einige Messungen des Torsionswinkels bei Neugebornen (und Embryonen aus den letzten zwei Monaten) ergaben die mittlere Grösse desselben zu 131° (das Mittel aus 12 Messungen)[1]). Die Differenz zwischen meine und Gegenbaurs Zahl (137°) kann wohl aus der etwas verschiedenen Messungsmethode herrühren. Bestimmte Schlüsse über die Grösse des betreffenden Winkels beim männlichen und weiblichen Neugebornen und beim rechten und linken Arm, die natürlich für die Beurtheilung der betreffenden Differenzen bei den Erwachsenen nicht ohne Bedeutung sein können, lassen sich aus dem kleinen Material selbstverständlich nicht ziehen. — Der mittlere Cubitalwinkel scheint beim Neugebornen etwas grösser zu sein und etwas öfter einen rechten Winkel zu übersteigen, als es beim Erwachsenen der Fall ist.

Die durchgreifenden Veränderungen im Innern des Skeletts, die in dem Auftreten der Ossificationscentra in den Knorpelanlagen und in der Verschmelzung dieser Knochenkerne mit den knöchernen Diaphysen eintreten, konnte ich wegen Mangel an Material nicht in den Kreis der Untersuchung einziehen.

[1]) In der Mitte des Embryonallebens, wo sich der Winkel nur annäherungsweise schätzen lässt, schien er auch etwa 130—140° zu betragen.

VIERTER ABSCHNITT.

Zur vergleichenden Anatomie des Ellenbogengelenks.

Kap. I. Einleitende Bemerkungen.

Zur Lösung der grossen Hauptaufgabe der vergleichenden Anatomie, die natürlichen Verwandtschaftsverhältnisse der Thiere zu ermitteln und ihre Stammesgeschichte (Phylogenie) kennen zu lernen, kann das Studium eines einzelnen Organes nur geringe Beiträge liefern. Und noch unsicherer werden die phylogenetischen Schlüsse, wenn sie aus der Betrachtung eines mehr peripher gelegenen Organs, das natürlich äusseren, modificirenden Einflüssen besonders ausgesetzt ist, hervorgegangen sind. — Dagegen muss ein solches Organ, z. B. ein Extremitätengelenk, sehr geeignet sein, uns die Gesetze der Anpassung zu veranschaulichen. Eine vordere Extremität, die vorzugsweise zum Schwimmen gebraucht wird, muss einen anderen Bau haben, als eine nur als Lauforgan angewendete; ein Flugapparat würde zum Wühlen in der Erde ebensowenig geeignet sein, wie ein Grabwerkzeug zum Fliegen. Ist also im Thierreiche für eine verschiedene Anwendung eines Organes eine verschiedene Gestaltung desselben erforderlich, so ist andererseits auch zu erwarten, dass eine gleichartige Anwendung von zwei ursprünglich verschiedenen Organen im Laufe der Zeit eine gewisse Übereinstimmung im Bau derselben hervorrufen wird; Beispiele einer solchen »Konvergenz» kennt die vergleichende Anatomie viele. Derselbe Zweck kann jedoch auf mehreren Wegen erreicht werden, und auch bei scheinbar ganz gleicher Funktion können daher bedeutende Differenzen bestehen, die dann als Erinnerungen an die verschiedenen Entwicklungsbahnen von dem grössten Interesse sind. Von vergangenen Zeiten sprechen vor allem diese normalen oder als Anomalien wiederkehrenden rudimentären Organe oder Organtheile, die in der jetzigen Funktion des

Körpers keine oder eine nur ungenügende Erklärung finden, diese eigenthümlichen »pensioners of the body, drawing pay (i. e. nutrition) for past honorable services without performing any corresponding work» (Osborn). Von den oben angegebenen Gesichtspunkten muss eine vergleichende anatomische Untersuchung ausgehen, namentlich wenn es sich um den Bewegungsapparat handelt. Auf die Zeichen einer funktionellen Anpassung, auf die Konvergenzerscheinungen, auf die Verschiedenheiten funktionell gleichartiger Theile und auf das Vorkommen rudimentärer Organe habe ich daher bei meiner Untersuchung das Hauptaugenmerk gerichtet gehabt.

Um die Morphologie eines Organes wirklich zu verstehen, muss man auch seine physiologische Anwendung kennen. Ehe ich zur Beschreibung des anatomischen Baues des Ellenbogengelenks übergehe, gebe ich deswegen erst eine kurze Übersicht der hauptsächlichsten Anwendung der vordern Extremität bei den verschiedenen Thieren und der dadurch bedingten, verschiedenen Bewegungstypen des Ellenbogengelenks.

Vor allem habe ich aber daran zu erinnern, dass die aus der einen oder anderen Ursache beschränkte Beweglichkeit in dem einen Gelenke durch eine entsprechend grössere Beweglichkeit in anderen Gelenken ersetzt werden kann. Ein Beispiel davon haben wir beim Menschen gesehen, wo für eine fehlende Ab- und Adduktion des (gebeugten) Ellenbogengelenks eine Rotation im Schultergelenk eintritt; weitere Beispiele werde ich später anführen.

Zu einer einfachen Vorwärtsbewegung des Körpers auf ebener Erde ist kaum mehr als eine Flexion und Extension der Extremitäten in einer der Körperachse paralellen Ebene erforderlich. Bei Thieren, deren Vordergliedmassen so gut wie ausschliesslich die genannte Aufgabe haben, finden wir gewöhnlich auch das Ellenbogengelenk als ein Ginglymus [1]) eingerichtet. Die geringen Seitenbewegungen und Drehungen der Extremität kann das Schulter- oder das Handgelenk leicht besorgen. Dieses ist der Fall mit den Hufthieren, den Proboscidien und auch mit einem Theile der Nagethiere (Hasen u. a.). Je beträchtlicher die zu tragende Körperlast ist, je grösser die Anforderungen auf Festigkeit sind, um so reiner ist der Ginglymustypus. Wo die Beanspruchungen weniger gross sind, kann auch eine kleine Beweglichkeit in seitlicher Richtung ohne Nachtheil eintreten. — Eine Begrenzung der Bewegungen des Ellenbogengelenks auf eine Ebene treffen

[1]) Die oft vorkommende Schraubenbewegung und die kleineren Unregelmässigkeiten der Bewegung, Schlussrotationen u. dgl. lasse ich hier unberücksichtigt, da sie die äusseren Funktionen des Gelenks nur relativ wenig zu beeinflussen scheinen.

wir auch bei den Schildkröten, die nur Beuge- und Streckbewegungen ausführen.

Die Anwendung der Vordergliedmassen zum Flug erfordert ebenfalls zumeist nur Flexion und Extension des Ellenbogengelenks, und zwar vornehmlich für das Entfalten und Zusammenlegen der Flügel, wogegen die Flügelschläge fast nur im Schultergelenk ausgeführt werden. Nur relativ unbedeutende andere Bewegungen stören den Ginglymuskarakter des Gelenkes (Vögel, Chiroptera).

Bei der Anwendung der vordern Extremitäten zum Greifen, Klettern und Graben spielt zwar die Beugung und Streckung die Hauptrolle [1]); eine grössere Vielseitigkeit der Bewegungen ist aber erforderlich, und sowohl Drehung des Gliedes um seine Achse, wie auch Seitenbewegungen sind hier von Nöthen. Dasselbe gilt auch für die Wasserthiere. Das Tauchen, das Verfolgen der Beute im Wasser ist nur durch Exkursionen der Treibschaufeln in verschiedenen Ebenen möglich; diese müssen dabei, um den erwünschten Effekt zu geben, immer mit der Fläche gegen die Bewegungsrichtung stehen; sie müssen also drehbar sein.

Wo der Ober- und der Unterarm annähernd in einer Linie liegen (wie beim Elefanten), da kann die Drehung des freien Endes der Extremität durch eine Rotation im Schultergelenk geschehen, wogegen sie bei Winkelstellung des Ellenbogengelenks in dieses selbst oder noch mehr distal verlegt sein muss. In den Gelenken der Hand finden wir nicht selten ein beträchtliches Rotationsvermögen (z. B. Trichosurus, Edentaten, Fischotter). Öfter aber findet die hauptsächliche Drehung in den Gelenkverbindungen zwischen der Ulna, dem Radius und dem Humerus statt, und zwar nach drei Haupttypen. Ist die Hand sowohl mit der Ulna, wie mit dem Radius relativ fest verbunden, so müssen beide Knochen an der Drehung theilnehmen. Wenn dann die radioulnare Verbindung (durch das Lig. interosseum) sehr straff ist, müssen beide Knochen zusammen auf der humeralen Gelenkfläche rotiren (Anura, vielleicht auch Tatusia). Ist die Verbindung im oberen Theile dagegen hinreichend locker, so kann jeder Unterarmknochen auf seiner Gelenkfläche am Humerus eine reine Drehung ausführen (Pinnipedia, Monotremata und Marsupialia). Artikulirt schliesslich der Carpus nur mit dem Radius und ist seine Verbindung mit der Ulna locker, so kann der Radius allein rotiren, wie es beim Menschen und auch bei den Affen, Halbaffen und gewissen Raubthieren (Felis) der Fall ist.

Die Seitenbewegungen der Vordergliedmassen können in reiner

[1]) Dass die Beugung und Streckung durch Ab- und Adduction ersetzt werden kann, werde ich gleich zeigen.

Ab- und Adduktion im Schultergelenk bestehen; bei Winkelstellung des Ellenbogengelenks sahen wir beim Menschen solche Bewegungen auch aus einer Drehung des Humerus um seine Längsachse hervorgehen. — Ist aber dieser Knochen durch seine Form oder, noch mehr, durch seine innerhalb der Körperoberfläche versenkte Lage in seinen freien Bewegungen gehindert, so muss die Ab- und Adduktion im Ellenbogengelenk selbst geschehen. Von dem grössten Gewichte ist diese Bewegung bei denjenigen Thieren, wo der Humerus lateralwärts vom Körper ausgeht und die Flexionsachse des Ellenbogengelenks also mit der Sagittalebene ziemlich paralell steht. Bei diesen Thieren haben die Flexion und Extension mit der Ab- und Adduktion die Rollen getauscht und die Vorwärtsbewegung des Körpers ist hauptsächlich der letzteren zugewiesen. Typische Beispiele davon sind unter den Säugethieren die Maulwürfe, die Monotremen und Myogale; auch die Batrachier, gewisse Reptilien und Edentaten zeigen eine ähnliche Anwendung der Vordergliedmassen. — Bei einigen Schildkröten ist die Stellung der vordern Extremitäten von der den meisten Wirbelthieren eigenen Stellung noch mehr abweichend. Der Humerus ist nach vorne gerichtet, die Flexionsseite beinahe caudalwärts, die Extensionsseite kephalwärts gekehrt. Durch Beugung des Ellenbogengelenks zieht sich das Thier vorwärts [1]) — Ich habe hier nur die wichtigsten Typen der Bewegungen des Ellenbogengelenks zu analysiren gesucht; im Einzelfalle treffen wir sie selten oder niemals rein, doch können nach diesen Typen auch die mehr komplicirten Bewegungen gewisser Thiere ziemlich gut analysirt werden.

[1]) Der Gleichförmigkeit wegen und da über die Homologie kein Zweifel sein kann, habe ich im Folgenden auch dann, wenn die Vordergliedmassen eine derartige abweichende Lage hatten, die Benennungen Vorder- und Hinterseite für Flexions- und Extensionsseite des Ellenbogengelenks gebraucht.

Kap. II. Zur vergleichenden Osteologie des Ellenbogengelenks.

Einer der zuerst und am vollständigsten bearbeiteten Abschnitte der vergleichenden Anatomie ist die Osteologie, dies theils wegen der leichteren Handhabung des dafür erforderlichen Materiales, theils wegen ihrer grossen Bedeutung für die Klassifikation sowohl der lebenden Thiere, wie der fossilen Funde. Wenig Neues hätte ich also aus einer detaillirten osteologischen Bearbeitung meines Materials erwarten können. Ich habe es deshalb vorgezogen, nur einige Gesichtspunkte für die Beurtheilung der funktionellen Gestalt der in Frage stehenden Skeletttheile zu geben. Ausser den von mir zergliederten Thieren konnte ich die osteologischen Sammlungen des Reichsmuseums, des Karolinischen Instituts und der Hochschule zu Stockholm benutzen.

In der Form eines Knochens ist gewiss nicht jede Einzelheit aus den rein mechanischen Gesetzen zu erklären. Das Skelett hat doch auch andere Aufgaben als die rein statische und mechanische; es soll das Knochenmark beherbergen, es soll vielleicht auch das specifische Gewicht des Körpers verändern[1]) u. s. w. Auch scheint es nach Roux (26), als wäre die Anpassungsfähigkeit des Knochengerüstes bei den tiefer stehenden Thieren noch nicht vollständig entwickelt; besonders soll dieses von dem zur Herstellung einer leistungsfähigen Struktur bei dem kleinsten Materialaufwand nöthigen Mechanismus der Inaktivitätsatrophie gelten. — Am ehesten können wir eine ausgeprägte funktionelle Knochengestalt bei den höheren Wirbelthieren erwarten, wo die Funktionen viel mehr specialisirt und zugleich die Beanspruchungen viel stärker als bei den übrigen Klassen sind. Dieser niedrigeren Wirbelthierklassen werde ich nachher mit einigen Worten Erwähnung thun.

Am untern Ende des Humerus der Säugethiere sind vor allem die Gelenkgruben und die Knorren zu bemerken. — Die hintere Gelenkgrube ist hauptsächlich von der Entwickelung des Olecranon abhängig, dann aber auch von dem Umfang der Gelenkbewegungen. Zu einem grossen Olecranon gehört im Allgemeinen auch eine grosse Fossa ole-

1) Vermittels der pneumatischen Räume verringert es bei den Vögeln das specifische Gewicht; bei gewissen Wasserthieren kann es vielleicht die Leichtigkeit des reichlichen Fettgewebes neutralisiren helfen.

crani; macht aber der Arm keine starken Extensionsbewegungen, so kann auch eine Grube von geringerer Tiefe genügen. — So finden wir z. B. bei den Seehunden, bei Myrmecophaga und Myogale, die ein starkes Olecranon haben, aber nur sehr beschränkte Streckbewegungen ausführen, eine kaum angedeutete Fossa olecrani. Die vordere Gelenkgrube ist in derselben Weise auf die Einwirkung des Radiuskopfes zurückzuführen; sie erscheint oft als ein negativer Abdruck desselben; bei gewissen Ungulaten, z. B. der Giraffe, wo der Radiuskopf zwei Höcker zeigt, ist sie in zwei Grübchen getheilt. Bei den Primaten, zuweilen aber auch bei Thieren anderer Ordnungen (Känguruh, Faulthier, Bär, Dachs) finden wir eine neben dem Radiuskopf hervorragende dem Proc. coronoideus entsprechende Grube. Nur beim Menschen und bei Perameles übertrifft die Fossa coronoidea die Fossa radialis an Tiefe. Eine Durchbohrung der Gelenkgruben treffen wir nicht selten bei den Säugethieren. Sie kommt bei einzelnen Repräsentanten sowohl höherer, wie niederer Ordnungen vor und kann sogar bei verschiedenen Individuen derselben Art fehlen, bei anderen vorhanden sein. Thiere, welche diese Perforation konstant haben, zeigen im Embryonalleben einen undurchbohrten Humerus. Es scheint mir desswegen nicht berechtigt zu sein, diese Perforation als ein Zeichen höherer oder niedriger phylogenetischer Entwicklung aufzufassen; vielmehr ist sie nur eine Folge einer weiteren Entwicklung der entsprechenden Knochenfortsätze am Unterarm oder, vielleicht eher, einer Erweiterung der Beweglichkeit in der Flexions- und Extensionsrichtung.

Wenn die Gelenkgruben tief sind, ist der Schaft des Knochens mehr oder weniger vollständig in zwei Balken getheilt, die auf der Gelenkrolle stehen. Diese Balken können eine sehr verschiedene Dimension und Form haben. Sie haben einen grösseren sagittalen Durchmesser, wenn der untere Theil des Knochens besonders stark auf Biegung in dieser Richtung beansprucht wird. Dies ist vor allem bei denjenigen Thieren der Fall, wo der Humerus auf dem Unterarm nach vorne geneigt steht, wo also der habituelle Flexionswinkel des Ellenbogengelenks relativ klein ist. Als Beispiele können das Pferd und der Elefant angeführt werden; beim Pferde, wo das Ellenbogengelenk einen Winkel von etwa 140° bildet, ist der sagittale Durchmesser des untern Humerusendes ungefähr ebenso gross wie der frontale, während beim Elefanten, dessen entsprechender Winkel beinahe 180° beträgt und dessen Humerus also ziemlich senkrecht auf den Unterarmknochen ruht, die Relation des sagittalen zum frontalen Durchmesser etwa 2: 3 ist. — Eine Vorwärtskrümmung des untern Humerusendes, welche die beim Menschen vorhandene weit übertrifft und wie diese die Festigkeit des Knochens gegen Biegung

nach hinten verstärkt, finden wir auch bei Thieren mit kleinem Winkel zwischen dem Ober- und Unterarm (Pferd u. a.).

Die Epicondylen haben ihre eigentliche Bedeutung als Ansatzstellen für Muskeln. Besonders der mediale Epicondylus wechselt bedeutend an Form und Grösse: von dem mächtigen einer Echidna bis zu dem ganz flachen vieler Ungulaten. Die Aufgabe derselben ist aber nicht nur die, den Muskeln hinreichend Platz für ihre Insertionen zu verschaffen, sondern sie bestimmen auch die Angriffswinkel der auf den Unterarm wirkenden Muskeln. Sind die Epicondylen nach den Seiten stark hervorragend, so werden dadurch ihre Muskeln von der senkrecht auf der Mitte der Incis. semilun. stehenden Ab- und Adduktionsachse und auch von der ziemlich in der Längsachse der Ulna verlaufenden Rotationsachse bedeutend entfernt; der Hebelarm wird länger, und die Muskeln können eine beträchtliche Kraft auf die genannten Bewegungen verwenden. Bei den Monotremen ist diese Einrichtung am besten zu sehen, aber auch an gewissen Edentaten und Insectivoren (Myrmecophaga, Maulwürfe) wird man schon aus der Gestalt des medialen Epicondylus mit ziemlich grosser Wahrscheinlichkeit auf eine Beweglichkeit in beiden oder einer der genannten Richtungen schliessen können. Bei den Ungulaten und anderen typischen Lauforganismen sind die Epicondylen nach hinten vergrössert, wodurch der Ansatz einiger der Epicondylenmuskeln hinter der Gelenkachse zu liegen kommt, so dass sie als Strecker des Ellenbogengelenks wirken können.

Die Leiste oberhalb des lateralen Epicondylus (Crista supracondyloidea later.) hat auch eine andere Bedeutung als die, dem Brachioradialis und den Extt. carpi radiales als Insertionsstelle zu dienen. Sie giebt auch dem Humerus eine grössere Festigkeit gegen Biegung nach aussen. Ich schliesse dieses daraus, dass sie da, wo diese Festigkeit besonders beansprucht wird, wo nämlich der Gegendruck des (die Körperlast hauptsächlich tragenden) Radius den Humerus nach aussen von seiner Längsachse trifft oder der Radius von dieser Längsachse, einen medialwärts offenen Winkel mit ihr bildend nach aussen abweicht, stärker entwickelt ist. Als Beispiele können theils die Fischotter und Trichosurus, theils der Bär und die Katze dienen; jene haben das Capitulum humeri ziemlich weit lateral von der Humerusachse liegen, bei diesen bildet der Radius mit dem Humerus einen nach innen offenen, relativ kleinen Winkel, alle aber haben sie eine starke Leiste oberhalb des lateralen Höckers. Andererseits stehen z. B. beim Kamele und beim Hasen der Radius und der Humerus, von vorne gesehen, annähernd in einer Linie; die letzgenannten Thiere haben keine Crista. — Die wirklichen Ausnahmen von dieser Regel (z. B. der Elephant) sind sehr selten. — Ist die genannte Crista mehr nach hinten gerichtet wie bei

dem Bären und dem Bieber, so muss sie die Festigkeit des Humerus gegen Biegung nach hinten verstärken.

An der Ulna intressirt uns hauptsächlich der Ellenbogenfortsatz, der den Ansatzpunkt der eigentlichen Streckmuskeln des Gelenkes bildet. Wo eine starke Kraftentwickelung dieser Muskeln nöthig ist, wie vor allem bei den typischen Laufthieren (den Hufthieren, dem Hunde, dem Hasen), aber auch bei grabenden Thieren (Centetes, Myrmecophaga u. a.), besonders wenn bei ihnen der Humerus in starker Winkelstellung gegen den Unterarm steht, muss der Hebel lang sein und das Olecranon also stark hervorragen. Bei den anthropoiden Affen, die ihre Arme nicht zum Tragen der Körperlast gebrauchen, ist das Olecranon viel weniger entwickelt, als bei den übrigen, die auf allen Vieren laufen (Pavian u. a). Den kleinsten Ellenbogenfortsatz zeigen von den Säugethieren die Faulthiere, bei denen starke Streckbewegungen kaum nöthig sind. Auch die Fledermäuse haben ein sehr kleines Olecranon.

Bei den schwimmenden und grabenden Thieren (Seehund, Maulwurf) ist das Olecranon in dem sagittalen Durchmesser stark vergrössert. Besonders wenn dazu die Epicondylen stärker hervorragen, können hierdurch die Mm. anconæus IV und epitrochleoanconæus mit angrenzenden Partien des Triceps und auch der M. dorsoepitrochlearis eine bedeutende Kraft für die Drehung der Ulna einsetzen. Bei Ornithorhynchus wird derselbe Zweck durch die seitliche, T-förmige Ausbreitung des Olecranonendes erreicht. Ist wieder das Olecranon medialwärts gebogen, wie wir es oft finden (Dachs, Otter, Eichhörnchen, Igel), so wird die Ansatzrichtung des grösseren Theiles des M. triceps medialwärts von der Rotationsachse verlegt, sodass dieser Muskel als Supinator ulnæ wirken kann.

Wo eine grosse Präcision in den Beuge- und Streckbewegungen, mit Ausschluss der Seitenbewegungen und der Drehung der Ulna, von Nutzen ist (als Beispiel seien wieder die laufenden Thiere genannt), da sehen wir sowohl den Gelenktheil des Olecranon, wie den Kronenfortsatz stärker hervorragen und die Incisura semilunaris einem grossen Kreisbogen entsprechen. Auch die Übertragung der Körperlast von der Speiche auf die Elle (beim Elephanten), ebenso eine mehr gestreckte habituelle Stellung des Gelenks, wobei die Elle durch die an ihr ansetzenden Streck- und Beugemuskeln nach oben gezogen wird (Anthropoiden), dürften Faktoren sein, die auf die Vergrösserung des Kronenfortsatzes Einfluss haben können.

Was die Speiche anbetrifft, so ist nur daran zu erinnern, dass wir eine relativ grössere Breite ihres Kopfes (und natürlich auch der entsprechenden Gelenkfläche am Humerus) bei den Laufthieren finden,

wo das Ellenbogengelenk nur als ein Ginglymusgelenk fungirt und gegen Seiteneinknickung sichergestellt werden muss.

Werfen wir schliesslich einen Blick auf die übrigen Vertebratenklassen, so finden wir bei den Amphibien und Reptilien eine weit indifferentere Gestalt der Armknochen. Die verhältnissmässig weniger wichtigen Streckbewegungen erfordern kein entwickeltes Olecranon, besonders da der Hebel für den Muskelzug schon durch die relativ starke Humerusrolle relativ lang ist. Nur Hatteria hat ein Olecranon. — In Folge des stärkeren Hervorragens des innern Epicondylus können die von demselben entspringenden Muskeln unter grösserem Winkel an den Unterarm und die Hand angreifen und dadurch kräftiger adducirend wirken; die Bedeutung der Adduktion für die Lokomotion dieser Thiere ist schon erwähnt worden.

Auch die Vögel haben ein sehr kleines Olecranon; sie haben aber auch eine dicke Humerusrolle, und die Tricepssehne ist bei einigen (Alca, Mormon, Endyptes) durch einen besondern, als Hypomochlion dienenden Vorsprung an der hintern Seite noch weiter von der Gelenkachse entfernt. Die wenig entwickelten Muskeln des Unterarms haben keine grossen Epicondylen nöthig. Das Gelenk ist in allem relativ breit, um eine seitliche Einknickung zu verhindern.

Kap. III. Das Ellenbogengelenk bei den verschiedenen Klassen und Ordnungen der Wirbelthiere.

Die mir bekannten früheren Arbeiten über die vergleichende Anatomie des Ellenbogengelenkes, auf welche ich später zurückkommen werde, beschäftigen sich so gut wie ausschliesslich mit der Lage der Unterarmknochen zu einander und zum Humerus und mit der Form der Gelenkflächen. Nur Cuenod (60) hat auch die wichtigeren Bänder beschrieben und auf die Bewegungen des Gelenks einige Rücksicht genommen. Meine eigenen Untersuchungen waren sowohl auf die Knochen und Bänder, wie auf die Muskeln des Gelenkes, also auf alle für den Bewegungsmechanismus direkt massgebenden Theile gerichtet. Die grösste Aufmerksamkeit habe ich den Säugethieren gewidmet, und aus sämmtlichen Ordnungen dieser Klasse habe ich, mit Ausnahme von Proboscidea und Natantia, von welchen mir kein geeignetes Material zu Gebote stand, Thiere auf ihre vordere Extremität untersucht. Auch von den mit entwickelten Gliedmassen versehenen Amphibien und Reptilien habe ich möglichst viele Typen präparirt. Die vordere Extremität der Vögel, die fast nur in einer bestimmten Richtung stark differentirt ist, glaubte ich etwas kürzer behandeln zu können, und ich habe deshalb nur verhältnissmässig wenige Repräsentanten dieser Klasse untersucht. Die Fische endlich, bei denen sich kein wirkliches Gelenk, sondern nur eine symphysenartige Verbindung der Knochen ohne differentirte Bänder und Muskeln findet, habe ich ganz ausser Acht gelassen.

Bei der Wahl der Objekte suchte ich einerseits so viele Familien wie möglich, anderseits Thiere mit möglichst verschiedener Lebensweise in den Kreis der Untersuchungen hineinzuziehen. Unten gebe ich ein Verzeichniss der von mir präparirten 69 Thiere; bei der Mehrzahl habe ich beide vorderen Extremitäten untersucht, bei leichter zugänglichen Thieren auch an zwei oder mehreren Individuen. In der Regel habe ich erwachsene Thiere untersucht, bisweilen aber auch grössere Jungen; nur von dem Walross, dem Tapir und dem Gürtelthier habe ich mich mit grösseren Embryonen begnügen müssen. Die meisten Thiere waren in Spiritus konservirt; wo es mir möglich war, habe ich frisch getöd-

tete Thiere bezogen und sie bisweilen sogar im überlebenden Zustand zergliedert. Im letzten Falle sind die Wirkungen der Muskeln und die Beweglichkeit der Gelenke gut zu prüfen. An alten Spirituspräparaten ist es dagegen ziemlich schwierig, sie richtig zu schätzen. Verfährt man aber mit strengster Kritik, hält man die Gelenkflächen bei der Prüfung der Beweglichkeit etwas gegeneinander gedrückt, um den Zug der lebenden Muskeln zu ersetzen, lässt man die Form der Gelenkflächen und das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein der für die in Frage stehenden Bewegungen nöthigen Muskelkomponenten die Schlussfolgerungen kontrolliren u. s. w., so wird man sich gleichwohl eine ziemlich richtige Vorstellung von den Bewegungsmöglichkeiten bilden können. Auf eine genaue Angabe in Graden und auf die feineren mathematischen Unregelmässigkeiten in der Form kommt es hier ja nicht an. —

Verzeichniss der von mir untersuchten Thiere.

Amphibia.

Anura. Rana temporaria.
Bufo vulgaris.
Pipa americana.
Urodela. Salamandra maculosa.
Amblystoma mexicanum.

Reptilia.

Chelonia. Testudo græca.
Chelonia viridis.
Crocodilina. Alligator missisippensis.
Sauria. Heloderma horridum.
Ameiva vulgaris.
Chamæleo montium.
Rhynchocephalia. Hatteria punctata.

Aves.

Impennes. Eudyptes chrysolopha.
Lamellirostres. Anser domesticus.
Gallinacei. Tetrao urogallus.
Gallus domesticus.
Passeres. Cypselus apus.

Mammalia.

Monotremata. Ornithorhynchus paradoxus.
Echidna aculeata.
Marsupialia. Didelphys Azaræ.
Myrmecobius fasciatus.
Perameles gunni.
Trichosurus vulpecula.
Phascolarctos cinereus.
Macropus giganteus.
Edentata. Bradypus tridactylus.
Cycloturus didactylus.
Tatusia novemcinctata (Embryo).
Manis tricuspis.
Ungulata. Sus domestica.
Ovis aries.
Bos taurus.
Tapirus americanus (Embryo).
Equus caballus.
Hyrax syriacus.
Rodentia. Sciurus vulgaris.
Myoxus glis.
Cricetus frumentarius.
Myodes lemmus.
Mus decumanus.
Alactaga jaculus.
Hystrix cristata.
Cavia cobaya.
Lepus cuniculus.

Carnivora.	Felis domestica.
	Genetta vulgaris.
	Canis familiaris.
	Ursus maritimus.
	Meles taxus.
	Mustela martes.
	Lutra vulgaris.
Pinnipedia.	Trichechus rosmarus (Embryo).
	Halichoerus grypus.
Insectivora.	Tupaia tana.
	Macroscelides typicus.
	Erinaceus europeus.
	Myogale moschata.
Insectivora.	Scalops aquaticus.
	Centetes ecaudatus.
Chiroptera.	Pteropus medius.
	Vesperugo noctula.
Prosimiae.	Chiromys madagascariensis.
	Tarsius spectrum.
	Lemur varius.
Primates.	Hapale jacchus.
	Ateles paniscus.
	Cynocephalus babuin.
	Macacus cynomolgus.
	Anthropopithecus troglodytes.

Eine vollständige Beschreibung der Gelenke sämmtlicher von mir untersuchten Thiere würde den Plan dieser Arbeit weit überschreiten. Ich muss mich daher mit einer kurzen Darlegung der wichtigsten, hauptsächlich derjenigen Resultate begnügen, die zu meinem Hauptthema: das Ellenbogengelenk des Menschen in einiger Beziehung stehen. —

A. Amphibien.

(Taf. III Fig. 1 Bufo, Fig. 2 Pipa, Fig. 3 Salamandra.)

Sowohl die urodelen, wie die anuren Amphibien haben an der vordern Seite des untern Humerusendes einen kugelrunden Gelenkkopf, der durch einen tiefen Ausschnitt von einem medialen, nach unten gerichteten, bei den Beuge- und Streckbewegungen als Führungsleiste dienenden Epicondylus getrennt ist. Nur Pipa hat auch an der lateralen Seite einen ähnlichen, symmetrisch gelegenen Knorren. — Bei den Schwanzlurchen ist eine vordere Gelenkgrube kaum angedeutet; bei den schwanzlosen, besonders bei Pipa, ist sie stark vertieft.

Die Urodelen haben den Radius und die Ulna vollständig frei; der Radiuskopf liegt gerade vor der Ulna und zeigt eine konkave obere Gelenkfläche, an welche sich die Gelenkfläche der Ulna als eine direkte Fortsetzung anschliesst. — Dagegen haben die Anuren die beiden Unterarmknochen zu einem Os antibrachii verschmolzen, das eine nach oben breitere Pfanne für den Humeruskopf bildet; der mediale Pfannenrand ist abgerundet und artikulirt mit der Rinne neben dem Epicondylus medialis.

Die Gelenkkapsel umschliesst die Gelenkflächen ziemlich genau, bildet aber an der hintern Seite unter der verdickten oder (bei Pipa) einen Sesamoidknochen umschliessenden Tricepssehne eine Ausbuchtung nach oben.

Die Kapsel ist an den Seiten etwas stärker, wodurch die Bildung eines medialen und eines lateralen Seitenbandes vom Humerus zum Radius (Ligg. epitrochleo-radiale und epicondylo-radiale) gerade angedeutet ist. Bei den Urodelen sind die Ulna und der Radius an den beiden Seiten der Gelenkspalte durch zwei ziemlich gut begrenzte, aber lockere Ligg. ulno-radialia mit einander verbunden.

Die Form des Gelenkkopfes würde für Bewegungen um alle drei Achsen kein Hinderniss sein; die Seitenbänder (bei Pipa die beiden Epicondylen) begrenzen jedoch die Rotation des Unterarms, indem die Gelenkhöhle die ganze Breite des Kopfes hat. Bei den Urodelen scheint aber eine kleine, mit der Ab- und Adduktion kombinirte Drehung vorzukommen. Die genannten Seitenbewegungen haben hier einen beträchtlichen Umfang und dürften bei der Lokomotion im Wasser von besonderem Nutzen sein. Sonst ist die Flexion-Extension die Hauptbewegung des Gelenkes. — Eine geringe Längsverschiebung zwischen den beiden Unterarmknochen ist bei den Urodelen nicht ausgeschlossen; sie besitzen auch Muskeln (Mm. humeroulnaris later. u. medial.), die ohne Zweifel für ein Emporziehen der Ulna hinter dem Radius gut geeignet sind. Diese Stangenverschiebung der Ulna nach oben wird, ganz wie die entsprechende Verschiebung des Radius nach unten, die bei den Reptilien und Vögeln vorkommt (s. u.), in eine Ulnarflexion des Handgelenks umgesetzt.

B. Reptilien.

(Taf. III Fig. 4 Alligator, Fig. 5 Ameiva, Fig. 6 Testudo.)

Der Alligator hat an der vordern Seite des untern Humerusendes zwei Gelenkköpfe, und zwar einen lateralen, grösseren, etwas schräggestellten, der in seinem vorderen Theile mit dem Radiuskopf in dem untern mit der Ulna artikulirt, und einen kleineren medialen, der für die Ulna allein bestimmt ist. Diese Gelenkköpfe sind durch eine ziemlich tiefe Furche, die am hintern untern Umfang der Rolle in einer kleinen Grube endigt, von einander getrennt. Die Achse des radialen Kopfes liegt etwas höher als die des ulnaren, wodurch die Gelenkflächen zu einander excentrisch gelegen sind. Die hintere Seite ist oberhalb der genannten kleinen Grube flach, die vordere zeigt nur eine schwache Andeutung einer Fossa anterior.

Die Ulna hat eine grössere äussere, nur schwach ausgehöhlte Gelenkfläche, die dem lateralen Humeruskopfe aufliegt und sich nach unten, hinter dem Radiuskopf fortsetzt, sowie eine innere, stärker konkave und mehr sagittal gestellte für den medialen Gelenkkopf. Die diese Flächen trennende Leiste passt in die Furche am Humeruskopf hinein und endigt nach oben mit einem kleinen, stumpfen Höcker. Ein eigentliches Olecranon fehlt. Der Radius liegt nach vorne und etwas lateralwärts von der Ulna; sein Kopf ist an seiner obern Fläche vertieft und zeigt am hintern Rand eine scharfkantige, elastische Faserlippe, die theilweise die Inkongruenz der Gelenkflächen aufhebt.

Die Eidechsen unterscheiden sich vom Alligator durch einen flacheren medialen Kopf, durch das Fehlen der kleinen Grube an der hintern untern Seite der Rolle, durch eine tiefere Fossa anterior und durch eine kleinere, mehr frontal gestellte laterale Gelenkfläche an der Ulna. Der Radiuskopf liegt im Verhältniss zur Ulna etwas mehr nach aussen.

Die Synovialis stülpt sich bei den Sauriern unter der Tricepssehne mit ihrer Verdickung (Patella) nach oben aus; beim Alligator folgt ihr Ansatz ziemlich den Rändern der Gelenkflächen. Am Radius befestigt sie sich genau am Rande; nur an der vordern lateralen Seite ist eine kleine Ausstülpung (unter dem Lig. epicond.-rad.) zu sehen. Die Kapsel wird an der hinteren Seite von der Tricepssehne vertreten; sonst ist sie ziemlich gleich stark. Bei den grösseren Thieren (Alligator) kann man jedoch deutliche Bänder von dem medialen Epicondylus zu den beiden Unterarmknochen (Ligg. epitrochleo-radiale und epitrochleo-ulnare) sowie ein Lig. epicondylo-radiale vom lateralen Epicondylus zum Radiuskopfe unterscheiden. — Starke, aber nicht straffe Bänder verbinden die Unterarmknochen an den beiden Seiten der radio-ulnaren Gelenkspalte. Eine Membrana interossea ist nicht vorhanden.

Im Ellenbogengelenk der Eidechsen und der Krokodile kommen alle die gewöhnlichen Arten von Bewegungen vor, sowohl Beugung und Streckung, wie Seitenbewegungen und Drehung. Die erste hat den grössten, etwa einen rechten Winkel betragenden Umfang und ist mit einer nicht unbeträchtlichen Längsverschiebung der Unterarmknochen gegen einander verbunden. Da die Achsen des ulnaren und des radialen Gelenkkopfes am Humerus nicht zusammenfallen, so wirkt der radiale als eine excentrische Scheibe auf den Radius, ihn bei der Flexion distalwärts, längs der Ulna, verschiebend; bei der Extension wird der Radius durch die Bänder wieder hinaufgezogen. Diese Bewegung des Radius wird auf das Handgelenk übertragen; wenn die radiale Partie des Carpus nach unter verschoben wird, stellt sich die Hand natürlich in Ulnarflexion; wenn der Radius wieder hinauftritt, bewegt sich die Hand in radialer Richtung [1]).

Die Ab- und Adduktionsbewegungen des Unterarmes sind auch nicht unbeträchtlich. Sie werden von den Epicondylenmuskeln, die sich eben deswegen zum grossen Theile an den Unterarmknochen, anstatt an der Hand

[1]) Die mit der Extension verbundene Bewegung des Radius nach oben kann unter anderen der M. pronator ausführen. Obgleich dieser Muskel nur zwischen den beiden Unterarmknochen zieht, dürfte er dadurch zur Streckung des Ellenbogengelenks beitragen. Vielleicht kann er in einer gegebenen Flexionslage des Gelenkes auch die Ulna etwas nach unten verschieben und dadurch direkt als ein Radialflexor der Hand wirken.

Der Muskelmechanismus der Reptilien wäre sicher ein eingehendes Studium werth. Von den eigenthümlichen Kombinationen der Muskelwirkungen will ich hier nur ein Beispiel anführen. Bei Heloderma konnte ich an einem eben getödteten Exemplar durch elektrische Reizung des untern transversalen Theiles des Pronator quadratus eine Näherung der Unterarmknochen an einander hervorrufen; hierbei wurden die Handwurzelknochen, die keilförmig zwischen die Ulna und den Radius hineinragten, nach unten hinausgetrieben und die volaren Ligamente zwischen der Handwurzel und dem Unterarm gespannt, wodurch sich die Hand in Volarflexion stellte. Auch nachdem sämmtliche übrige volare Muskeln wegpräparirt waren, fungirte dieser Mechanismus noch.

inseriren, ausgeführt und sind theilweise mit Drehung kombinirt (die Abduktion mit Supination, die Adduktion mit Pronation). Die Drehbewegungen sind beim Alligator ziemlich beschränkt, bei den Eidechsen, namentlich beim kletternden Chamäleon aber ziemlich umfangreich und scheinen so gut wie ausschliesslich vom Radius an der stillstehenden Ulna ausgeführt zu werden.

Von dem oben beschriebenen Typus unterscheidet sich die von den übrigen Reptilien so stark abweichende **Hatteria** durch einen weit nach unten hervorragenden medialen Knorren, der eine seitliche, flache Gelenkfläche für die Ulna trägt. Der Radius liegt etwas mehr lateralwärts vor der Ulna. Mit dem grösseren lateralen Humeruskopf artikulirt nur jener; die Ulna hat eine vordere, ausgehöhlte Gelenkfläche für den kleineren Kopf und eine mediale Seitenfläche für den medialen Knorren. In der Anordnung der Kapsel und auch in den Bewegungen, stimmt Hatteria mit den eigentlichen Eidechsen gut überein. Vielleicht ist die Drehung des Radius bei Hatteria etwas grösser, und wegen der Anordnung der Gelenkflächen an der Humerusrolle muss bei den Seitenbewegungen im Ellenbogelenk eine nicht unbeträchtliche Längsverschiebung der Unterarmknochen eintreten.

Die **Schildkröten** haben eine annähernd cylindrische Humerusrolle; an dem lateralen Theil der Rolle bemerkt man eine sehr schwache Konvexität (bei Chelonia etwas stärker), am medialen eine ebenso schwache Konkavität. Die Gelenkfläche erstreckt sich nur auf die vordere und untere Seite des Knochens; eine hintere Gelenkgrube fehlt; die vordere ist nur angedeutet. Die Speiche liegt nach vorne und lateralwärts von der Elle. Die Gelenkfläche des erstgenannten Knochens geht, nur von der engen, schrägen, radio-ulnaren Gelenkspalte unterbrochen, unmittelbar in die des letztgenannten über.

Der Ansatz der Kapsel folgt überall, also auch am Radiuskopf, den Grenzen der Gelenkflächen. Die Kapsel verstärken ein äusseres Lig. epicondylo-radiale und ein inneres Lig. epitrochleo-ulnare. Speiche und Elle sind durch starke Lig. radio-ulnaria mit einander verbunden. Die Membrana interossea ist dagegen wenig entwickelt.

Die Beweglichkeit umfasst nur eine mässige Flexion und Extension; Seitenbewegungen und Drehung fehlen, wie es scheint, auch bei den schwimmenden Cheloniern, wo sie durch eine grössere Beweglichkeit im Handgelenk ersetzt ist.

C. Vögel.

(Taf. III Fig. 7 Gallus.)

Das Ellenbogengelenk der Vögel zeigt in vielen Hinsichten eine grosse Übereinstimmung mit dem der Reptilien. Das untere, ziemlich breite Humerusende hat zwei excentrisch liegende Gelenkköpfe von unregelmässiger

Form, einen grösseren lateralen und einen kleineren medialen, die durch eine Furche von einander getrennt sind. Der mediale Kopf kann zu einer breiten Rolle ausgezogen sein (Cypselus). An der hintern Seite des medialen Knorrens findet sich eine kleine Vertiefung, die Fossa posterior, an der vordern Seite eine tiefere Fossa anterior. Die Gelenkfläche der Ulna ist durch eine nach oben stumpf endende Leiste in eine ziemlich stark ausgehöhlte Fläche für den medialen Gelenkkopf und Vin eine mehr flache für die mediale Seite des lateralen Kopfes getheilt, und setzt sich nach unten in eine Gelenkfläche für den Radiuskopf fort. Der Radius liegt lateralwärts und etwas nach vorne von der Ulna und hat einen ovalen Kopf, der eine obere, leicht ausgehöhlte, humerale Gelenkfläche und eine mediale Seitenfläche für die Ulna zeigt. Die Kapsel befestigt sich im Allgemeinen ziemlich nahe an den Rändern der Gelenkfläche, hat aber an mehreren Stellen weite Ausstülpungen unter den Ligamenten und Muskelsehnen. Von den verstärkenden Bändern bemerken wir zwei vom medialen Epicondylus zur Ulna verlaufenden Ligg. epitr. ulnaria, und zwar ein sehr starkes unteres und ein etwas schwächeres und schlaffes hinteres. Weiter sehen wir ein laterales Lig. epicond. radiale und ein vorderes Lig. humeroradiale, das oberhalb der Fossa ant. vom Humerus entspringt und durch die Furche an der Rolle nach der vordern Seite der Radiuskopfes verläuft. Der Radius und die Ulna sind mit einander durch ein vorderes mediales und ein hinteres laterales Lig. radioulnare, die beide stark, aber schlaff sind, verbunden. Schliesslich läuft ein sehr starkes, »meniskenähnliches» Band von der lateralen Seite des Olecranon nach derselben Seite des Radiuskopfes.

Die hauptsächlichste Bewegung ist eine Flexion und Extension, bei welcher hier, ganz wie bei den Reptilien, aber gewöhnlich in noch höherem Grade, eine Längsverschiebung zwischen der Ulna und dem Radius eintritt. Durch diese Verschiebung wird bei der Flexion im Ellenbogengelenk die Hand ulnarwärts gebeugt und der Flügel also zusammengelegt. Sonstige Bewegungen sind in der Strecklage durch die Spannung der Bänder und die Form der Gelenkflächen so gut wie ganz ausgeschlossen; in flektirter Stellung ist dagegen eine bisweilen nicht unbeträchtliche Seitenbewegung und vielleicht auch eine mit dieser verbundene, kleine Rotation möglich.

Der Pinguin, der seine Flügel nur zum Schwimmen verwendet, zeigt starke Veränderungen des Ellenbogengelenks. — Die Armknochen sind platt und der radiale Gelenkkopf am Humerus liegt nicht neben sondern über dem Ulnaren. Ein deutliches Lig. epitr. radiale ist auch vorhanden. Die Flexionen und die Extensionen, die von einer starken Längsverschiebung der Unterarmknochen begleitet sind, umfassen keinen halben rechten Winkel; Pronations- und Supinationsbewegungen sind deutlich vorhanden; die Ab- und Adduktion ist dagegen ziemlich klein.

D. Säugethiere.

1. Monotremen.

(Taf. III, Fig. 8 Echidna.)

Das untere Ende des Humerus der Monotremen zeigt einen rundlichen Gelenkkopf, oberhalb dessen an der vorderen Seite eine kleine Fossa anterior eingesenkt ist; auf der hinteren Seite ist der Gelenkkopf schmäler und

stärker gekrümmt, auch reicht er weniger weit nach oben. Eine Fossa anterior ist nicht vorhanden. Bei Echidna liegt an der vordern Seite, lateral vom Gelenkkopf, eine kleine konkave Fläche für den lateralen Rand des Radiuskopfes. Die Ulna und der Radius liegen einander paralell: jene gerade nach der Streckseite, dieser nach der Beugeseite. — Die querovale, etwas ausgehöhlte obere Fläche des Radiuskopfes bildet eine direkte Fortsetzung der längsovalen, konkaven Gelenkfläche der Ulna, die in der Quere eine stärkere Krümmung als in der Länge zeigt. Eine flache radioulnare Gelenkspalte trennt die Gelenktheile der Unterarmknochen von einander.

Die Kapsel folgt ziemlich genau dem Knorpelrande der Gelenkflächen. Bei Ornithorhynchus schliesst sie jedoch eine kleine Fläche der Wurzel des Epicond. medial. ein, gegen welche die Ulna bei Supination anstösst; ein Knorpelüberzug findet sich hier aber nicht. An den Seiten, besonders der äussern, ist die Kapsel etwas verstärkt, ohne jedoch begrenzte Hilfsbänder aufzuweisen. Die beiden Unterarmknochen sind an beiden Seiten der radioulnaren Gelenkspalte mit einander durch starke Ligamente verbunden, was jedoch eine seitliche Verschiebung dieser Knochen gegen einander nicht hindert. Besonders bei Echidna, wo eine Membrana interossea sich nur in der untern Hälfte findet, scheint diese Verschiebung nicht gering zu sein. Ornithorhynchus hat in der ganzen Länge des Unterarms ein Zwischenknochenband, wodurch die Verbindung der beiden Knochen viel straffer wird.

Synovialbeutel habe ich unter den Muskelsehnen nicht angetroffen.

Von den Bewegungen ist die starke Ab- und Adduktion vielleicht die für die Lokomotion des Thieres wichtigste. Sie dürfte etwa 30—40° betragen; ihre Ausschläge können durch Rotationen im Schultergelenk noch grösser werden. Die Adduktion, die durch die Lage der Extremität zur Körperachse eine Rückwärtsbewegung des Vorderfusses bewirkt, wird durch sämmtliche, von dem enorm mächtigen medialen Epicondylus entspringende, nach unten ziehende Muskeln (vor allem den Pronator teres) ausgeführt, die Abduktion dagegen von dem Epitrochleoanconæus und den Muskeln des lateralen Epicondylus, besonders dem Supinator (brevis), die jedoch wegen des weniger starken Hervorragens dieses Gelenkknorrens eine weniger günstige Angriffsrichtung haben. Die Rotation ist auch, namentlich bei dem im Wasser lebenden Ornithorhynchus sehr bedeutend (etwa 30—40°). Als Pronatoren wirken hauptsächlich der Anconæus IV und der äussere Theil des Triceps, als Supinatoren die an dem medialwärts hervorragenden Theil des Olecranon inserirenden Tricepsköpfe, die an einem relativ günstigen Hebelarm angreifen. Die Drehung scheint hauptsächlich um die Längsachse der Ulna zu geschehen. — Wegen der Form und der Lage der Gelenkflächen muss sowohl bei den Seitenbewegungen, wie auch bei der Drehung eine seitliche Verschiebung zwischen der Ulna und dem Radius eintreten; namentlich ist dies bei Echidna der Fall. — Die Beugung und Streckung geht in der typischen Weise vor sich. Sie beträgt etwa einen rechten Winkel und wird eigentlich nur von dem Biceps und dem Brachialis, bezw. dem Triceps ausgeführt; von den Epicondylenmuskeln trägt fast nur der Brachioradialis zur Beugung bei. —

2. Beutelthiere.

(Taf. III, Fig. 9 Didelphys, Fig. 10 Perameles.)

Bei den Beutelthieren finden wir schon eine vollständig ausgebildete Humerusrolle mit einer mehr oder weniger schrägen Trochlea und einem lateral neben dieser auf der vordern Seite belegenen, kugeligen Capitulum. Diese können ohne bestimmte Grenzen in einander übergehen (Myrmecobius), oder scharf von einander abgesetzt sein (Perameles); eine Zwischenstellung nimmt in dieser Hinsicht Didelphys ein [1]). Im erstern Falle gehört ein Streifen der Gelenkrolle der Elle und der Speiche gemeinsam an, im lezteren sind die radiale und die ulnare Fläche vollständig getrennt. Bei Phascolarctos und Macropus finden wir die Gelenkgruben, namentlich die hintere nur schwach entwickelt. Bei Perameles sind sie sehr tief, und es kann sogar eine Perforation (doch nicht konstant) vorkommen [2]).

Betrachtet man die Unterarmknochen in ihrer natürlichen Lage, so findet man, dass der Radius bei Myrmecobius und bei Phascolarctos etwa die halbe Breite des obern Ulnaendes, bei Perameles dagegen nur einen ganz schmalen Streifen davon von vorne bedeckt. Der kleine Knochenfortsatz, der bei dem letzteren hinter dem Radiuskopf lateralwärts hervorragt, scheint nicht direkt mit dem Humerus zu artikuliren. Der vom Halse nur wenig abgesetzte Radiuskopf ist ziemlich rund und hat eine regelmässige Konkavität (Fovea). Bei Didelphys ragt der innere Rand der Fovea etwas herauf, der äussere tritt, der Form der Humerusrolle entsprechend, etwas zurück. Die artikulirende Seitenfläche des Radiuskopfes ist ziemlich niedrig und nicht viel länger als die Incisura radialis. Die Incisura semilunaris ist gewöhnlich sehr flach; nur bei Perameles und Myrmecobius tiefer eingeschnitten.

Die Kapsel schliesst die Gelenkgruben am Humerus ein, folgt aber sonst, wie an der Elle, ziemlich genau dem Knorpelrande. Am Radius befestigt sie sich am vordern medialen Umfange des Kopfes nahe am Rande der Fovea und tritt dann lateralwärts ziemlich weit auf den Hals hinab. Diese Ausbuchtung wird bei Didelphys hinten durch eine vertikale Synovialfalte von der radioulnaren Gelenkspalte getrennt; diese Falte schlägt sich oben nach vorne um und folgt dem Rande eine Strecke, wodurch eine nach vorne offene Tasche entsteht. Bei den übrigen Thieren finden wir nur den obern Theil dieser Falte in der Form eines feinen Bändchens wieder, das sich von der äussern Kapselwand frei durch die Gelenkhöhle zum lateralen hintern Rande des Speichenkopfes zieht [3]). Ich nenne es im Folgenden Ligamentum teres radii. Nur Perameles macht hierin eine Ausnahme; bei ihm befestigt sich die Kapsel ringsum weit unten am Halse des Radius, und das Ligamentum teres fehlt.

In der Kapselwand sieht man immer mehr oder weniger deutliche Verstärkungen. Vom medialen Epicondylus geht ein starker Faserzug nach der

---

[1]) Mit Myrmecobius stimmt Phascolarctos, mit Didelphys Macropus und Trichosurus in der Form der Gelenkflächen ziemlich gut überein.

[2]) Dass bei Perameles der innere, dem Proc. coronoideus entsprechende Theil der vorderen Gelenkgrube tiefer ausgehöhlt ist, wurde schon erwähnt.

[3]) Sowohl bei Macropus, wie bei Myrmecobius war es haarfein. Von diesen Thieren habe ich aber nur jüngere Exemplare untersucht, und es würde mich daher nicht wundern, wenn dasselbe älteren Individuen hin und wieder fehlen sollte.

medialen Seite des Ellenbogenfortsatzes, (Lig. epitrochleoanconæum), das dem Lig. rhomboideum, (Cuenod 60) entspricht. Von der vorderen Seite des Epicond. med. laufen Fasern zu dem Processus coron. und dem vorderen medialen Rande des Radiuskopfes. (Lig. epitrochleo-coronoideum und Lig. epitrochleo-radiale.) Vom lateralen Epicondylus geht ein ziemlich deutliches Bündel nach unten hinten zur Ulna, nahe ihrer Verbindung mit dem Radius (Lig. epicondylo-ulnare). Endlich sieht man ein Band (L. epicondylo-radiale) nach unten zu der lateralen Seite des Radiushalses gehen, und einige Fasern (Lig. epicondylo-coronoideum) schräg über den Radiuskopf zum Processus coronoid. verlaufen. Vom Process. coronoid. ziehen ebenfalls Fasern nach der vordern medialen Seite des Radiuskopfes. (Lig. radio-ulnare mediale s. anterius).

Von den übrigen Marsupialien weichen Myrmecobius und Perameles durch ein weniger deutliches Lig. epitrochleo-ancon. ab; ferner finden wir hier den Ansatz der Ligg. epitr.-rad. und radio-ulnare weiter distal auf den Radius gerückt; das Lig. epicond.-radiale ist mit der Supinatorsehne verwachsen und hat keine festere Anheftung an den Radius.

Die Membr. interossea ist nur bei Myrmecobius und Perameles (beim letzteren besonders in der oberen Hälfte) gut entwickelt; bei den übrigen ist sie locker oder findet sich nur in der untern Hälfte des Zwischenknochenraumes. Bei Perameles und Didelphys finden wir einige starke, relativ selbständige transversalle Bündel etwas oberhalb der Mitte des Unterarms.

Synovialbeutel unter den Muskelsehnen sind selten. Phascolarctos hat einen solchen zwischen dem Brachialis und dem Radius und Perameles unter der Hauptsehne des Triceps; sonst war unter den Sehnen nur lockeres Bindegewebe vorhanden.

Die Bewegungen. Bei Perameles und Myrmecobius scheinen sowohl eine Rotation der Ulna um ihre Achse, wie eine Ab- und Adduktion des Unterarmes ganz ausgeschlossen zu sein, worauf schon eine blosse Betrachtung der Incisura semilun. dieser Thiere schliessen lässt. Dagegen muss die Drehnug im Radioulnargelenk nicht unbeträchtlich sein [1]). In voller Übereinstimmung hiermit sehen wir eine relativ gute Entwickelung des Pronator teres und des Supinator; der letztere entspringt auch vom Lig. epicond. ulnare. Der Epitrochleoanconæeus und der Anconæus IV sind dagegen klein; der erstere ist sogar grösstentheils sehnig verwandelt.

Bei den übrigen Thieren scheinen Seitenbewegungen und eine mässige Ulnarotation ausführbar zu sein; die dazu nöthige Gestalt der Gelenkflächen und die Lockerheit der Bänder sind, ebenso wie die nöthige Entwicklung und Anordnung der Muskeln (spec. des Epitrochleoanconæus), vorhanden. Zu gleicher Zeit ist die reine Radiusrotation durch die ulnoradiale Verbindungen etwas beschränkt. Die Flexions- und Extensionsbeweglichkeit ist ziemlich gross, bietet aber sonst kein besonderes Interesse dar.

[1]) Winges Angabe (71), dass die Beweglichkeit zwischen der Ulna und dem Radius bei Perameles kleiner als bei den übrigen Marsupialien sei, ist also nicht richtig.

3. Edentaten.

(Taf. III, Fig. 11 Tatusia, Fig. 12 Cycloturus, Fig. 13 Bradypus.)

Die sehr heterogene Ordnung der Zahnarmen zeigt auch im Bau des Ellenbogengelenks äusserst verschiedene Typen. Etwas näher stehen einander einerseits Tatusia und Cycloturus, andererseits Bradypus und Manis.

Tatusia hat an der Humerusrolle eine vordere, hauptsächlich für den Radius bestimmte, in der Mitte konvexe Fläche, die ohne scharfe Grenzen in die hintere, schwach konkave, ulnare Fläche übergeht. Die Gelenkgruben sind kaum angedeutet. — Der Radiuskopf liegt gerade vor der Ulna, von ihr durch eine ziemlich ebene Gelenkspalte getrennt; seine querovale obere Fläche ist in der Mitte ausgehöhlt und hat abgerundete Seitenränder. Die Ulna hat eine sehr flache Incisura semilunaris. Cycloturus zeigt an der Ulna eine zweite, stark nach hinten zurückweichende mediale Gelenkfläche. Von vorne nach hinten ist diese Fläche konkav, von unten nach oben etwas konvex; von der lateralen Fläche ist sie durch eine scharfe Kante getrennt. Für die Aufnahme der letzteren hat die Humerusrolle eine scharfe Leitfurche.

Die Gelenkkapsel befestigt sich sowohl bei Tatusia, wie bei Cycloturus längs dem Rande des Radiuskopfes (natürlich mit Ausnahme der hintern, der Ulna zugekehrten Seite). An der medialen Seite finden wir ein gut entwickeltes Lig. epitr. ancon.; auch die laterale Kapselwand ist etwas verstärkt. Die Ulna und der Radius werden an beiden Seiten der Gelenkspalte mit einander durch starke Ligg. ulnoradialia verbunden, welche jedoch eine seitliche Verschiebung der Knochen nicht verhindern. Tatusia hat einen Schleimbeutel zwischen der Bicepssehne und dem Radius, Cycloturus zwischen der Brachialisinsertion und diesem Knochen.

Im Gegensatz zu den vorigen Thieren haben Manis und Bradypus am Humerus beinahe vollständig getrennte Gelenkflächen für die Ulna und den Radius und eine mittlere Furche für den abgestumpften medialen Rand des Radiuskopfes. Die Gelenkgruben sind bei Manis sehr klein; Bradypus hat keine Fossa olecrani, dagegen ist die vordere Grube in eine laterale Fossa radialis und eine kleinere Fossa coronoidea getheilt. — Der ovale Radiuskopf liegt bei Manis schräg nach aussen und vorne von der Ulna und hat eine laterale Gelenkfläche für einen Sesamknochen in der Supinatorsehne und eine mediale Tuberosität gegen die Brachialissehne. Bei Bradypus liegt der ziemlich runde, vom Halse nur wenig abgesetzte Radiuskopf beinahe rein lateral von der Ulna. Beide haben eine flache Incis. semilun. und einen kleinen Proc. coronoid.

Die Kapsel befestigt sich bei den letzt genannten Thieren hinten und lateralwärts ziemlich weit nach unten am Radiushalse, nur an der vordern medialen Seite am Rande des Radiuskopfes. Beide haben ein starkes freies Lig. teres radii von der lateralen Kapselwand zum Rande des Radiuskopfes.

Ein gut differentirtes mediales Seitenband, Lig. epitr. ulnare ist bei Bradypus vorhanden; bei Manis scheint hauptsächlich die laterale Kapselwand verstärkt zu sein. Bei dieser geht ein Lig. epitrochleoradiale vom medialen Epicondylus zum hintern Theil der obengenannten Tuberosität des Radiuskopfes. Es kreuzt den Kronenfortsatz und ist von ihm durch eine Ausstülpung der Kapsel getrennt. Die Ligg. radioulnaria sind sehr schwach und schlaff; dagegen scheinen einige cirkuläre Fasern von der Supinatorsehne zum Kronenfortsatz um den Radiushals zu ziehen.

Die Membrana interossea ist bei den Edentaten sehr wenig entwickelt. Manis hat eine mit der radioulnaren Gelenkspalte kommunicirende Bursa unter der Brachialissehne, ebenso eine Bursa unter dem Extensor digit. und eine Andeutung einer Tricepsbursa.

Bei sämmtlichen Edentaten dürften, ausser ziemlich umfänglichen Flexions- und Extensionsbewegungen, sowohl eine kleine Rotation der Ulna um ihre Achse, wie eine Ab- und Adduktion des Unterarmes vorkommen. Nur bei Cycloturus scheinen mir die letzteren Bewegungen eine grössere Rolle spielen zu können. Die regelmässige sphärische Form des Capitulum humeri, die Konvexität der medialen Gelenkfläche an der Ulna, deren Achse ungefähr durch das Centrum des Capitulum hum. geht, und die Weite der Kapsel einerseits, die Stärke der von den weit hervorragenden Epicondylen entspringenden kurzen Muskeln des Ellenbogengelenks (Epitrochleo-anconæus, Anconæus IV, Supinator und Pronator teres) anderseits berechtigen uns, auf eine nicht geringe Beweglichkeit in den genannten Richtungen zu schliessen. Dagegen ist die Drehung des Radius bei Cycloturus und noch mehr bei Tatusia durch die Form der Gelenkflächen und die ulnoradialen Verbindungen stark beschränkt.

Manis und Bradypus müssen eine gute rotatorische Beweglichkeit des Radius besitzen; bei ihnen hat der Supinator brevis auch einen ulnaren Ursprung und in seinem obern Theil eine relativ transversale Faserrichtung. Bemerkenswerth ist ferner beim Bradypus das starke Übergewicht der Flexorengruppe (des Biceps und des Brachialis) über dem Extensor triceps, was natürlich mit der eigenthümlichen Lebensweise dieses Thieres zusammenhängt.

---

4. Hufthiere.

(Taf. IV, Fig. 16 Bos.)

Die von mir untersuchten Paar- und Unpaarhufer zeigen eine sehr gute Übereinstimmung im Bau des Ellenbogengelenks.

Das untere Humerusende hat in der Mitte eine breite, ziemlich flache Furche, an der medialen Seite von dieser eine grössere, lateral eine kleinere cylindrische Fläche, welche von der Mittelfurche durch mehr oder weniger scharfe Leisten getrennt sind. Auf der hintern Seite setzt sich nur die mittlere Furche fort, die in einer sehr tiefen hinteren Gelenkgrube endigt. Die vordere Grube ist weniger ausgehöhlt, breit aber flach.

Der sehr starke Radius hat eine obere Gelenkfläche, die der ganzen Breite der Humerusrolle entspricht und genau in die Rolle einpassende Furchen und Leisten besitzt. Er liegt gerade vor der Ulna, oder ein wenig mehr nach der lateralen Seite hin. Die Ulna ist mit dem Radius intim verwachsen und hat nur eine ziemlich kleine Gelenkfläche für den hintern Theil der Mittelfurche am Humerus.

Die Gelenkkapsel inserirt bei den Ungulaten unmittelbar am Rande des Radiuskopfes. Am Olecranon werden die Seitenflächen, an dem Humerus die Gelenkgruben und Theile der Seitenflächen von der Synovialisinsertion umfasst. Weite Austülpungen der Synovialhöhle liegen zwischen und unter den Sehnen der Epicondylenmuskeln. — Die Kapsel ist an der hintern Seite äusserst dünn, ebenso an der vorderen (Schwein), doch kann sie auch von

einigen vertikalen oder schräge von der Gegend oberhalb des lateralen Epicondylus nach innen und unten verlaufenden Fasern verstärkt sein. Die sehr starken Seitenbänder, die Ligg. epicond. radiale und epitrochleoradiale, von denen dieses von dem sehnig verwandelten Pronator teres, jenes von dem ebenfalls atrophirten Supinator (?) verstärkt wird, inseriren an den Epicondylen etwas hinter und oberhalb der Gelenkachse, wodurch sie bei einer mittleren Flexion am stärksten gespannt werden. Von dieser Lage federt das Gelenk sowohl in die Strecklage, wie in stärkere Flexion über; am deutlichsten ist dies beim Pferde zu sehen, aber auch der Ochs, das Schaf und das Schwein haben solche federnde Gelenke. Die Ligg. ulnoradialia laterale und mediale sind äusserst stark; sie verlaufen von der Ulna nach unten und vorne zum Radius und überbrücken theilweise den Winkel zwischen dem Radiuskopf und der Gelenkfläche der Incisura semilun. ulnæ [1]). Eine schwache Andeutung eines Lig. epicond. anconæum traf ich beim Pferde. — Die Membrana interossea wird von dem sehr starken Sehnengewebe, das die Unterarmknochen mit einander verbindet, vertreten.

Der Triceps hat eine gut entwickelte Bursa unter seiner Hauptsehne. — Bei dem Schafe und dem Schweine finden wir auch Schleimbeutel unter den Sehnen des Brachialis, des Biceps und des Flexor digitor.

Die Bewegungen sind ausschliesslich Beugung und Streckung. Zu der letzteren tragen die hinter und unterhalb der Gelenkachse inserirenden Flexoren und Extensoren bei. Die Schraubenbewegungen und Schlussrotationen bei Extension und Flexion sind bei dieser Thiergruppe oft sehr deutlich ausgesprochen.

Das Ellenbogengelenk beim Hyrax schliesst sich in manchen Hinsichten dem jetzt beschriebenen Typus an. Es besteht aber bei diesem Thiere nicht die intime Verbindung der Unterarmknochen mit einander, die wir bei den übrigen Ungulaten finden; eine kleine Verschiebung dieser Knochen gegen einander scheint nicht unmöglich zu sein.

Die Kapsel befestigt sich nur an der vorderen Seite am Rande der Radiusgelenkfläche, an der lateralen und medialen dagegen etwas weiter nach unten. — Deutliche Ligg. epitr. anconæum und epitr. ulnare sind vorhanden; das Lig. epitr. radiale ist schwächer.

---

5. Nagethiere.

(Taf. III, Fig. 14 Hystrix, Fig. 15 Lepus.)

Die Mehrzahl der von mir untersuchten Nagethiere, mit Ausnahme des Hasen und des Meerschweinchens, gleichen in der Form ihrer Gelenkflächen ziemlich genau dem vom Phascolarctos vertretenen Typus; nur springt bei ihnen der Schnabel des Olecranon viel stärker hervor, was zur Folge hat, dass die von der Incisura semilunaris und dem Radiuskopf gebildete Bucht

[1]) Beim Pferde hat das Lig. radioulnare mediale zwei deutlich getrennte, oberflächliche Bündel; es scheint mir aus der Vergleichung mit anderen Ungulaten als sehr wahrscheinlich hervorzugehen, dass diese Bündel von ulnaren Insertionen des Brachialis und des Biceps herstammen.

für die Humerusrolle viel tiefer ist und die Gelenkgruben oberhalb der Rolle stärker eingesenkt sind. Der Radiuskopf deckt von vorne den grösseren Theil der Ulna in ihrer Breite, und die beiden Knochen haben einen breiten Streifen der Humerusrolle gemeinsam. Der mediale Randtheil der Fovea rad. ist der Form der Humerusrolle entsprechend abgeflacht. — Myoxus hat an der vordern Seite der Rolle eine Grenzfurche zwischen dem Capitulum und der Trochlea; eine schwache Andeutung einer solchen Furche findet man auch beim Eichhörnchen.

Die Gelenkkapsel befestigt sich an der medialen und der lateralen Seite der Speiche ziemlich weit nach unten an dem Halse; vorne tritt sie bis nahe an den Rand der Fovea herauf[1]). Die Ausbuchtung an der äussern Seite des Kopfes ist von der ulnoradialen Gelenkspalte durch eine dünne vertikale, sich auf dem Fovearande nach vorne ausbreitende Synovialduplikatur getrennt, ganz wie bei Didelphys[2]); nur Cricetus hat ein freies Ligam. teres radii. Die Gelenkgruben und Streifen von den Seitenflächen der Humerusrolle werden von der Kapsel umfasst, ebenso die Spitze des Proc. coronoideus und der Olecranonschnabel.

In der Kapselwand kann man gewöhnlich folgende verstärkende Bänder unterscheiden: ein Lig. epitrochleoancon., ein Lig. epicond. radiale, gewöhnlich mit einem Lig. epic. ulnare zum hintern Rand der Inc. radialis ulnæ vereinigt, und ein Lig. epitr. radiale, das die Spitze des Proc. coronoideus kreuzt und sich zur medialen hintern Seite des Radiushalses begiebt. Bei den meisten Nagethieren findet man die Ulna und den Radius ziemlich dicht an einander liegend und durch starkes Bindegewebe mit einander verbunden. Bei Hystrix finden wir eine deutliche Membr. interossea, sowie auf der hinteren Fläche derselben ein starkes, von der Elle zum Radius herabziehendes plattes, Ligament.

Gewöhnlich liegt zwischen der (am Radius oder an der Ulna inserirenden) Bicepssehne und dem Radius, immer aber unter der Tricepssehne ein Schleimbeutel.

Ausser den Beuge- und Streckbewegungen scheint auch in der Regel eine kleine rotatorische Beweglichkeit des Radius vorzukommen. Beim Eichhörnchen ist die Pronation mit einer kleinen Adduktion und die Supination mit einer Abduktion des Unterarms verbunden[3]). Bei den übrigen Nagern ist die Seitenbeweglichkeit sehr klein und scheinbar ohne Bedeutung.

---

[1]) Bei Lemmus geht der Synovialisansatz auch an der vordern Seite am Radiushals ziemlich weit nach unten. Cricetus hat hier eine dünne vertikale Falte der Synovialmembran, die zwei seitliche, ziemlich tiefe Ausbuchtungen von einander trennt.

[2]) Hystrix und Myoxus haben eine zweite vertikale Synovialduplikatur an der vordern (medialen) Grenze der radioulnaren Gelenkspalte.

[3]) In dieser Kombination der Bewegungen scheinen die Ligg. epitr. rad. und epic. rad. eine wichtige Rolle zu spielen. Wenn man an einem Eichhörnchen den Unterarm abducirt, wird das erstgenannte Band gespannt, wodurch es eine supinatorische Drehung des Radius bewirkt. Wird der Unterarm adducirt, verursacht die Spannung des Lig epic. radiale eine Pronation. In derselben Weise können die Bänder durch Drehungen des Radius wechselweise in Spannung gesetzt werden, wodurch Seitenbewegungen des Ellenbogengelenks eintreten. Es ist deutlich, dass ein solcher Mechanismus beim Klettern, z. B. beim Umklammern eines dickeren Baumastes, dem Thiere von Nutzen sein kann.

Lepus und Cavia haben eine ganz andere Gestalt der Knochen des Gelenks, die etwas an das Verhalten bei den Hufthieren erinnert. Der Radiuskopf ist breiter als die Ulna, und verdeckt dieselbe von vorne ganz. Die relativ dicke und kurze Humerusrolle hat medial eine tiefe Trochlea für die Ulna und den medialen Theil des Radiuskopfes. Ein scharfer Kamm trennt die Trochlea von einer kleineren äusseren Fläche, die dem Radius allein gehört. Dem entsprechend zeigt der Radiuskopf in der Mitte eine tiefe Furche; nach innen von dieser eine der Incis. semilun. entsprechende Leiste und nach aussen davon eine kleinere, vorne abfallende Fläche. Die schmale Incis. semilun. und der Radiuskopf bilden zusammen einen Bogen von mehr als 180°, wodurch das Ausheben der Rolle aus demselben einigem Widerstand begegnet. Die Gelenkgruben sind weit perforirt.

Beide Thiere haben nur ein schwach entwickeltes Lig. epitr. anconæum. Dagegen fliessen das Lig. epitr. radiale und das Lig. epitr. coron. zu einem starken fächerförmigen Seitenband zusammen. Ein freies Lig. teres radii hat der Hase; bei ihm finden wir auch einen Sesamknorpel in der Tricepssehne, sowie doppelte Schleimbeutel unter derselben.

Der Hase hat tiefe Ausbuchtungen der Synovialhöhle zwischen der untern Fläche der Epicondylen und den hier entspringenden Muskelsehnen. Nur am lateralen Knorren ist beim Meerschweinchen eine kleinere solche Ausbuchtung vorhanden.

Die Form der Gelenkflächen verhindert jede andere Bewegung als Beugung und Streckung. Dem gemäss sehen wir den Pronator teres sehr schwach entwickelt und den Supinator brevis sehnig verwandelt; derselbe kann auch ganz fehlen. Der Epitrochleoanconæus ist durch seine Lage nur als Extensor wirksam. Als Extensoren wirken auch gewisse der langen Epicondylenmuskeln, die hier ihren Ursprung hinter und unterhalb dor Gelenkachse haben. Am Ende einer vollen Flexion findet immer eine Schlussrotation in supinatorischer Richtung und eine dieselbe begleitende kleine Abduktion statt. Diese Bewegung geschieht um den kleinen äusseren, ausschliesslich radialen Theil der Humerusrolle als Centrum. Der diesen entsprechende Theil des Radiuskopfes wird hier durch Knochenhemmung aufgehalten, während die übrigen Theile der Gelenkfläche die Bewegung fortsetzen.

6. Carnivoren.

(Taf. IV, Fig. 19 Felis.)

Die echten Raubthiere bilden auch in Bezug auf das Ellenbogengelenk eine sehr einheitliche Gruppe. Die schräg stehende und wenig tiefe Trochlea geht gewöhnlich ohne scharfe Grenze in das Capitulum humeri über. Dieses ist von Seite zu Seite nur wenig konvex, bisweilen sogar in der Mitte etwas eingesenkt. Die hintere Gelenkgrube ist sehr tief; lateralwärts wird sie von einer bisweilen sehr starken Leiste begrenzt, an welche sich das Olecranon bei der Extension anlegt. Die vordere Gelenkgrube ist mehr oder weniger deutlich in eine Fossa radialis und eine weniger tiefe Fossa coronidea getheilt (nur beim Bären sind diese Gruben gleich gross). Beim Hunde sind die Gelenkgruben perforirt.

Der Radiuskopf liegt zum grossen Theil vor der Ulna und hat eine unregelmässige Gelenkfläche, die nur in pronirter Stellung mit der entsprechenden Fläche am Humerus einigermassen kongruirt. Er zeigt am vordern Umfange einen medialen und einen lateralen Knorren und zwischen beiden eine nach dem Proc. coronoid. schräg hinabsteigende Rinne.

Die Kapsel inserirt am Radius ringsum an seinem Halse, gewöhnlich etwas höher an der vorderen Seite. Der Hund und der Dachs haben ein kleines Lig. teres an der gewöhnlichen Stelle, der erstere noch ein zweites, etwas stärkeres, von der Vorderseite der Kapsel zum vordern Rande der Fovea ziehendes freies Bändchen und eine vertikale Duplikatur unmittelbar vor der radioulnaren Gelenkfläche. — Die wichtigsten Hilfsbänder sind ein starkes Lig. epitr. ancon. (nur beim Hunde etwas schwächer), ein ebenso kräftiges Lig. epitr. radiale, das die untere (vordere) Fläche des Proc. coron. kreuzt, wo es von einer Ausstülpung der Kapsel begleitet wird, und am Radius hinter oder oberhalb der Bicepsinsertion befestigt ist [1]). Bei Pronation wird es gespannt, wobei es den Unterarm etwas adducirt. Andere Fasern befestigen sich am Processus coronoideus selbst (Lig. epitr. coronoid.). Von dem äussern Epicondylus läuft ein starkes Lig. epicond. coronoid. in einem schwachen Bogen durch die vorhergenannte Furche am Radiuskopf zum Proc. coronoideus. Bei Supination des Radius wird es durch die Assymetrie des Radiuskopfes gespannt, wobei es den Proc. coron. nach aussen zieht und dadurch auch die Ulna supinirt und den Unterarm abducirt. Oberflächlichere Fasern gehen bisweilen über die vordere Kapselwand zur Spitze des Proc. coron. und stehen mit der Brachialissehne (bisweilen auch mit der Bicepssehne) in fester Verbindung. Ein starkes Lig. epicond. rad. läuft vom Epicond. lat. gerade nach unten, zum Radiushals. Es ist mit der Ursprungssehne des Supinator untrennbar verwachsen und hat, dem lateralen Knorren des Radiuskopfes entsprechend, eine starke fibröse oder knorpelige Sesamoidbildung. Schliesslich gehen nach unten hinten starke Sehnenfasern zum hintern Ende der Incis. radial. und zum Ulnaschaft unterhalb derselben (Lig. epicond. ulnare). Das Lig. epic. rad. und das Lig. epic. ulnare sind durch starke, transversale Fasern verbunden; wirkliche annuläre Fasern um den Radiushals finden wir aber nicht.

Unterhalb der Incis. radial. sind die Ulna und der Radius durch ein starkes Lig. ulnoradial. intermedium verbunden. An der hintern Seite der Membr. interossea, oberhalb ihrer Mitte, laufen breite, starke, rein transversale oder von der Ulna herabsteigende Faserzüge.

Schleimbeutel unter der Tricepssehne und zwischen dem Biceps (oder dem Brachialis) und dem Radius sind konstant vorhanden; gewöhnlich auch unter den Sehnen des Pronator teres (Meles) oder der Fingerbeuger (Ursus, Canis).

Die Beuge- und Streckbewegungen haben einen grossen Umfang und sind oft (Bär, Hund) von einer kleinen Schlussrotation, die bei Beugung in supinatorischer, bei Streckung in pronatorischer Richtung geht, begleitet. Die Drehung des Unterarms hat einen Umfang von vielleicht 20—40° und ist am grössten bei dem Bären, dem Dachse und der Fischotter, am kleinsten beim Hunde. Sie besteht hauptsächlich aus einer Radiusrotation, doch dreht sich zu gleicher Zeit auch die Ulna etwas in derselben Richtung. Mit der Pronation ist eine kleine Adduktion, mit der Supination eine Abduktion des Unterarms verbunden. Selbständige Seitenbewegungen ohne Rotation

[1]) Beim Bären läuft das Ligament in einer schrägen Furche auf dem Kronenfortsatz.

scheinen nicht vorzukommen. Die Kombinationen der Bewegungen ähneln in Vielen den beim Eichhörnchen beschriebenen; noch viel deutlicher finden wir aber denselben Mechanismus bei dem Seehunde ausgeprägt (s. u.) An der Drehung und den Seitenbewegungen sind vor allem die kurzen Cubitalmuskeln betheiligt. Auch der Biceps und der Abductor pollicis scheinen aber gelegentlich zur Supination beitragen zu können.

7. Pinnipedien.

(Taf. IV, Fig. 20 Halichoerus.)

Den eigentlichen Carnivoren schliessen sich die Pinnipedien im Grundtypus ihres Ellenbogengelenks ziemlich nahe an; die Anpassung an die so verschiedenen Lebensbedingungen hat ihn aber in vielen Hinsichten stark modificirt. Das Capitulum humeri ist sehr gross und stark vorspringend, die Trochlea in ihrem vordern Theil ziemlich tief. Dieser Theil derselben ist von dem hintern deutlich abgesetzt und gehört dem Radius an. Die Gelenkfläche geht an der hinteren Seite nur wenig hinauf. Die vordere Gelenkgrube ist, besonders oberhalb des Capitulums tief, die hintere seichter.

Der Radius liegt in der Mittelstellung vor und etwas lateralwärts von der Ulna. Sein grosser Kopf hat eine regelmässig ausgehöhlte Mittelfläche für das Capitulum hum. und medialwärts neben dieser eine halbmondförmige, sehr schräge Fläche für den ebengenannten vorderen Theil der Trochlea. Nach unten von dieser Fläche hat der Radiuskopf eine cylindrische Randfläche, die aber zur Achse der Fovea stark excentrisch gekrümmt ist. Die Incis. semilun. der Ulna ist relativ schmal und flach. Das Olecranon ragt nach oben nicht weit hervor, ist aber, wie die ganze Ulna, nach hinten stark ausgezogen. Die Incisura radialis ist klein und von vorne nach hinten flach oder etwas konvex, wodurch die Berührung mit dem Radiuskopf auf eine sehr kleine Fläche beschränkt wird.

Die Synovialhöhle erstreckt sich rings um den Radius auf seinen Hals herab. — Ein mässig starkes Lig. teres rad. durchsetzt an der gewöhnlichen Stelle des Gelenk. Über die vordere Fläche des Kronenfortsatzes unter dem Lig. epitr. rad. geht eine Ausstülpung der Gelenkhöhle schräg nach aussen, bis zum Radioulnargelenk hinab, mit dem sie in offener Verbindung steht.

Ein sehr starkes Lig. epitr. coronoideum geht zur innern Seite des Kronenfortsatzes hinab; am seinen Ursprung am innern Epicondylus wird es von dem mehr oberflächlich gelegenen Lig. epitr. radiale gekreuzt. Dieses Band ist auch sehr stark und läuft von dem Kronenfortsatz schräg nach unten, zur hintern medialen Seite des Radiushalses, gleich oberhalb der Bicepsinsertion. Das Lig. epitr. anconæum ist gut entwickelt. Vom äussern Epicondylus geht das starke Lig. epicond. coron. schräg von dem Radiuskopf zum Proc. coronoideus, wo seine Insertion vom Lig. epitr. radiale bedeckt wird. Das Lig. epic. ulnare ist mit der Supinatorsehne intim verwachsen; ebenso das schwächere Lig. epicond. radiale, das sich zur Aussenseite des Radiushalses begiebt. Die Membrana interossea fehlt oben, ist aber an der Mitte des Unterarmes sehr stark, mit queren Fasern. Zwischen den Extensores digit. laufen lange Sehnenfasern vom äussern Epicondylus bis zum untern Ende des Radius hinab, wo sie in das peritendinöse Bindegewebe übergehen.

Von Schleimbeuteln ist nur eine Bursa bicipitalis vorhanden. Sämmtliche kurze Muskeln des Ellenbogengelenks sind gut entwickelt.

Die Bewegungen. Die Beugung und Streckung des Ellenbogengelenks ist wenig umfangreich, vielleicht 70—80°. Dagegen scheint die Drehbarkeit des Unterarms mehr als einen rechten Winkel zu umfassen. Eine selbständige Drehung des Radius bei stillstehender Ulna ist kaum möglich. Beide Knochen bewegen sich zu gleicher Zeit in derselben Richtung und werden überdies bei Pronation etwas adducirt, bei Supination abducirt. Die Verkuppelung der verschiedenen Bewegungen steht mit mehreren Faktoren in Zusammenhang. Einerseits ist sie eine Folge von Bänderspannungen von ungefähr derselben Art wie bei dem Eichhörnchen und den eigentlichen Carnivoren; anderseits wird sie durch die Form des Radiuskopfes verursacht. Wenn der Radius pronirt wird, drückt nämlich die obengenannte, excentrische Seitenfläche den Proc. coronoid. medialwärts, wodurch eine gleichgerichtete Drehung der Ulna eintritt. Dazu kommt noch die relativ feste Verbindung der Unterarmknochen mit einander an ihren distalen Enden und die Anordnung der bewegenden Muskeln in Betracht.

8. Insectivoren.

(Taf. IV, Fig. 17 Scalops, Fig. 18 Myogale.)

Das Ellenbogengelenk der Insectivoren mit Ausnahme der Talpiden stimmt in seiner allgemeinen Gestalt mit dem früher beschriebenen Typus der Mehrzahl der Nager so gut wie vollständig überein. Es zeigt dieselbe Form der Humerusrolle, dieselbe Lage der Unterarmknochen u. s. w. — Eine Perforatio olecrani ist beim Igel und bei Macroscelides vorhanden. Der letztere hat eine Incisura semilun., die mehr als 180° umfasst. Der Igel hat einen sehr breiten Radiuskopf, der die Ulna von vorne ganz verdeckt.

Die Kapselinsertion am Radius geht, wie bei den Nagern, an der lateralen Seite unter der Supinatorsehne und dem Lig. epicond. rad. ziemlich weit hinab; eine vertikale Synovialduplikatur findet sich am hintern lateralen Ende der Incisura radialis, und setzt sich dieselbe auf dem Rande des Radiuskopfes nach vorne fort. Auch an der vordern Seite befestigt sich die Kapsel am Radiushalse (nur bei Centetes näher dem Rande). An der vordern (medialen) Grenze der radioulnaren Gelenkspalte finden wir eine ähnliche vertikale Synovialfalte[1]). Der Igel hat den Kapselansatz nahe am Rande und nur eine sehr kleine Ausstülpung an der vordern lateralen Seite.

Das Lig. epitr. ancon. ist immer gut entwickelt. Auch die Ligg. epic. ulnare und epic. radiale sind relativ stark. Bei Centetes tritt auch ein Lig. epitr. coronoid., beim Igel ein Lig. epitr. rad. hervor. Die Membr. interossea ist in der Regel stark; bei Centetes finden wir an der hintern Seite, an der Mitte des Unterarms, selbständige, starke, transversale Fasern.

Alle diese Thiere haben einen grossen Schleimbeutel unter der Tricepssehne; Centetes hat eine Bicepsbursa, der Igel eine Brachialisbursa gegen den Radius. — Einen Sesamknochen in der Supinatorsehne fand ich bei ihnen allen.

[1]) Bei Tupaia setzt sich auch diese Falte auf dem Rande der Fovea, eine nach aussen offene Tasche bildend, fort.

Die Übereinstimmung mit den Nagern im Bau des Gelenks ergiebt auch eine genaue Übereinstimmung in den Bewegungen. Die Rotation im Radioulnargelenk ist beim Igel sehr beschränkt, scheint aber in einer kleinen Drehung der Ulna um ihre Achse Ersatz zu finden.

Von den genannten Insectivoren weichen die **Talpiden** höchst wesentlich ab.

Scalops hat an dem breiten unteren Ende des Oberarmknochens ein rundes Capitulum und medial neben diesem, mehr an der hintern Seite, eine konkaveylindrische Trochlea. An der lateralen Seite der Ulna mit ihrem mächtigen Oleeranon und ihrer tief ausgeschnittenen Incisura semilunaris liegt der grosse, stark konkave Radiuskopf. — Bei Myogale erkennt man denselben Typus; die Trochlea und das Capitulum hum. gehen aber in einander über, und der Radiuskopf liegt theilweise vor der Ulna, die eine weniger tiefe Inc. semilunaris hat. — Bei Myogale sind sowohl die Fossa anterior wie die F. posterior gut entwickelt; bei Scalops ist es nur die letztere.

Die Kapsel inserirt sowohl bei Myogale, wie bei Scalops am Rande des Fovea. An beiden Seiten des ulnoradialen Gelenks sind die Knochen durch starke Bänder verbunden, die aber hinreichend schlaff sind, um sowohl transversale, wie longitudinale Verschiebungen der Knochen gegeneinander zu erlauben. Myogale hat Schleimbeutel unter den Triceps-, Biceps- und Brahialis-sehnen.

Die Bewegungen. Die Flexion und Extension beträgt bei diesen Thieren kaum einen halben rechten Winkel; denselben Umfang erreichen namentlich bei Scalops, auch die Ab- und Adduktionsbewegungen des Ellenbogengelenks. Die Rotation, wobei wohl die Ulna die grösseren Exkursionen macht, ist besonders bei Myogale ziemlich beträchtlich. — Wegen der Lage der Gelenkflächen am Humerus muss vor allem bei Scalops die Ab- und Adduktion von einer starken Längsverschiebung der Ulna und des Radius gegeneinander begleitet sein. Da der letztere Knochen sich mehr als die Ulna an der dorsalen Seite der Handwurzel ansetzt, wird diese Längsverschiebung in eine Bewegung des Handgelenks übertragen. Bei der Abduktion im Ellenbogengelenk tritt eine Beugung nach der volaren und zugleich ulnaren Seite ein, bei der Adduktion eine radiodorsale Beugung. Die mit der Abduktion verbundene Volarflexion wird auch durch die passive Spannung des grosscntheils in eine starke Sehne verwandelten Flex. dig. prof. hervorgerufen. Für die Seitenbewegungen des Ellenbogengelenks und (bei Myogale) für die Drehung werden dieselben Muskeln in Anspruch genommen, wie früher von den Monotremen angegeben wurde. Die relative Entwickelung der verschiedenen Muskeln stimmt auch mit den Verhältnissen bei diesen Thieren ziemlich gut überein.

---

9. Fledermäuse.

(Taf. IV, Fig. 21 Vesperugo.)

Die vordere Seite des untern Humerusendes bildet eine Gelenkrolle für den Radius, welche beim Vesperugo in der Mitte eine tiefe, nach oben etwas

breitere Rinne und an der lateralen Seite dieser eine scharfe Leiste hat; bei Pteropus finden wir nur sanfte konvexe und konkave Krümmungen. An der hintern Seite ist nur eine seichte Delle für die Trieepssehne und das obere Ende der rudimentären Ulna vorhanden. Vesperugo hat einen gerade nach unten gerichteten Epicond. med. und eine deutliche Fossa anterior. Beim ihm ist die Ulna mit dem Radius vollständig versehmolzen; bei Pteropus liegt jene mit ihrem oberen Ende frei hinter dem Radiuskopfe. Die humerale Gelenkfläche des letzteren hat der Humerusrolle vollständig angepasste Rinnen und Leisten. In der Mitte derselben hat Pteropus eine knorpelfreie Grube.

Die Seitenflächen der Humerusrolle sind grossentheils in der Kapsel eingeschlossen. Am Radiuskopf befestigt sich die Kapsel vorne am Rande, an den Seiten weiter herab; die Ausstülpung an der medialen Seite steht (bei Pteropus) mit der Gelenkspalte zwischen der Ulna und dem Radius in offener Verbindung; die laterale ist von dieser durch eine vertikale Synovialfalte getrennt. Die vordere Wand der Kapsel ist ziemlich schwach; die hintere wird von der Triceps sehne und ihren seitlichen Ausstrahlungen gebildet. Seitlich liegen die starken Ligg. epitr. und epic. radial. von denen das letztere einen Sesamknoehen einschliesst, der wahrscheinlich dem von ihm theilweise entspringenden Supinator angehört. Die Ligg. ulnoradialia (bei Pteropus) sind schwach und schlaff. Eine grosse Bursa ist zwischen dem Biceps-Brachialis und dem Radius vorhanden.

Die Bewegungen. Bei Vesperugo ist ein beinahe reiner Ginglymus vorhanden; nur bei starker Flexion, wobei der vordere Theil der Radiusleiste in das breitere obere Ende der Humerusrinne eintritt, sind kleine Ab- und Adduktionsbewegungen möglich. — Bei Pteropus kann dagegen auch in anderen Stellungen eine kleine Rotation des Radius[1]) stattfinden; die Tricepssehne und das obere Ende der Ulna bleiben dabei in ihrer Furche liegen, wodurch eine nicht unbeträchtliche Seitenverschiebung zwischen dem Radiuskopf und der Ulna nothwendig wird.

10. Halbaffen.

(Taf. IV, Fig. 22 Lemur.)

Die Prosimien zeigen schon eine sehr menschenähnliche Gestaltung der Gelenkflächen. Die wichtigsten Unterschiede sind die weniger ausgesprochene Konkavität der Trochlea, womit natürlich eine von Seite zu Seite flachere Incis. semil. verbunden ist, ferner ein stärkeres Hervorragen des Olecranon und der Epicondylen, und eine grössere Tiefe der Fossa radialis im Verhältniss zu der kleinen Fossa coronoidea.

Die Insertion der Kapsel geschieht unterhalb des scharf abgesetzen Kopfes auf dem Collum radii. Nur bei Lemur tritt sie an der vordern medialen Seite etwas höher hinauf. — Tarsius und Chiromys zeigen hier eine vertikale Synovialfalte, die aber den Rand nieht erreicht. An der hintern lateralen Seite geht bei allen ein relativ starkes, freies Lig. teres zum Rande der Fovea. — Das Lig. epitr. anconæum ist gut entwickelt. Vom

[1]) Mit dieser Rotation ist wegen der schrägen Achse auch eine Ab- und Adduktion des Unterarms verbunden.

innern Epicondylus ziehen bei Lemur und Chiromys Faserzüge sowohl zum Proc. coron., wie zum Radiuskopf, wo sie theilweise in das Lig. annul. übergehen. Vom Epicondyl. lat. gehen Fasern theils zur Spitze des Proc. coron., theils zum hintern Rand der Incis. radialis und zu der Crista an der Ulna unterhalb dieser Incisur. Deutliche cirkuläre Fasern verbinden diese Bänder mit einander und bilden ein sehr starkes Lig. annulare. Die Membr. interossea ist im obern Theil relativ schwach. Am untern Viertel sieht man bei Chiromys an der Dorsalseite sehr starke, von der Ulna zum Radius hinabsteigende Bänder.

Ein Schleimbeutel liegt immer zwischen der Bicepssehne und dem Radius, ein anderer, grosser unter der Tricepssehne (bei Lemur sogar zwei). In der Supinatorsehne hat Tarsius einen Sesamoidknorpel.

Die Bewegungen verhalten sich etwa wie beim Menschen. Extension und Flexion sind sehr stark; Radiusrotation auch beträchtlich, namentlich bei Chiromys, am kleinsten bei Tarsius, wo aber eine grosse Beweglichkeit im Handgelenk sie ersetzen kann. Eine bemerkenswerthe Drehung der Ulna oder Ab- und Adduktion derselben dürfte kaum vorhanden sein.

---

11. Affen.

(Taf. IV, Fig. 23 Cynocephalus, Fig. 24 Hapale.)

Ziemlich dieselben Charaktere unterscheiden das Ellenbogengelenk der Affen, wie das der Halbaffen, von dem menschlichen Ellenbogengelenke. — Es wäre noch eine grössere aber weniger scharfe Furche an der Humerusrolle für den Fovearand und ein mehr ovaler Radiuskopf mit breiterer Abstumpfung des Randes hervorgehoben. Bei Hapale und noch mehr bei Ateles ist die Rolle sehr breit und flach (etwa wie bei Bradypus). Im Gegensatz hierzu ist sie beim Pavian von den Seiten zusammengedrückt und durch die wenig hervorragenden Epicondylen und den stark vorspringenden medialen Rand der Fossa olecrani etwas an die des Hundes erinnernd.

Die Kapsel umfasst oft einen grösseren Theil der Seitenflächen der Humerusrolle und befestigt sich tief unten an dem Radiushalse. Bei Hapale treten vorne medial und hinten lateral vertikale Synovialfalten bis nahe an den Rand der Fovea hinauf. Bei Macacus sah ich an der erstgenannten Stelle Reste einer solchen Falte in der Form dreier feinen Fäden von der Kapsel zur Seitenfläche des Kopfes. Ateles hat ein starkes, der Pavian ein schwächeres Lig. teres an der gewöhlichen Stelle.

Von ligamentösen Verstärkungen finden wir konstant ein gut entwickeltes Lig. epitr. coronoideum, das im allgemeinen zur medialen Seite des Proc. coron., bisweilen aber auch zur Spitze desselben geht. Das Lig. epitr. anconæum kam auch bei allen vor, war aber nur bei den zwei Platyrrhinen (Ateles und Hapale) stärker. Diese hatten auch ein Lig. epitr. rad., das zur hintern Seite des Radiushalses etwas oberhalb der Bicepsinsertion verlief; eine Ausbuchtung der Kapsel folgte diesem Bande über die vordere Seite des Proc. coronoid. — Ein vom lateralen Knorren zum Radius laufendes Lig. epic. rad. fehlt (bei Ateles finden sich vielleicht Spuren von demselben); dagegen laufen starke Ligg. epicond. coronoid. und epicond. ulnare zum vordern und hintern Ende der Incis. radial.; diese Bänder sind am Ursprung mit

einander und mit der Supinatorsehne intim verwachsen. Transversale Fasern kreuzen den Winkel und bilden wenigstens beim Chimpanzen ein Lig. annulare im eigentlichen Sinne des Wortes; bei den übrigen sind die Fasern weniger deutlich. Der Radius ist nur durch ein Lig. radioulnare intermedium (Ligament carré, Denucé) und die im Allgemeinen nicht sehr starken Membrana interossea mit der Ulna verbunden. An der dorsalen Seite der Ulna finden wir aber bei den meisten Affen einige starke, oberflächlichere Faserbündel, die gewöhnlich von der Ulna zum Radius herabsteigen.

Eine Bursa tricipitis treffen wir immer; die Bicepsbursa ist bei Ateles und Hapale undeutlich. Macacus hat noch eine Bursa zwischen dem Biceps und der Ulna. Hin und wider finden wir noch Schleimbeutel unter den Ursprungssehnen der Extensoren, seltener unter denen der Flexoren (Macacus).

Die Beweglichkeit ist dieselbe wie im menschlichen Ellenbogengelenk, vielleicht sogar etwas grösser; besonders bei den niedriger stehenden Affen (Ateles) scheint sie auch deutliche Seitenbewegungen und Drehungen der Ulna zu umfassen.

Kap. IV. Morphologische Ergebnisse.

Die phylogenetische Entwicklungsgeschichte muss immer ein »Hypothesengebäude« sein und bleiben. Die Umbildungsprocesse des Thierstammes selbst können wir nie mit unseren Augen verfolgen, und von den zahllosen aus denselben entsprungenen Formen stehen uns nur eine beschränkte Zahl zur Verfügung, bei weitem nicht hinreichend, um daraus eine lückenlose Reihe ordnen zu können. Und sollten wir auch in einem gegebenen Falle eine kontinuirliche Reihenfolge von Entwicklungsformen vor uns zu sehen glauben, so haben wir es doch in der Regel nur mit entsprechenden Stufen verschiedener Paralellreihen zu thun. Es muss dieses immer der Fall sein, wenn wir, wie z. B. in Fragen von den Weichtheilen, die palæontologischen Urkunden nicht zu Hilfe ziehen können, sondern unser Material nur aus der jetzt lebenden Thierwelt zu beziehen vermögen. Der thatsächliche Werth der aus einem derartigen Material gezogenen Schlüsse ist deswegen immer problematisch.

Wenn ich dennoch in den folgenden Zeilen einige Andeutungen über den wahrscheinlichen Gang der Entwickelung des Ellenbogengelenks zu geben wage, geschieht dies nicht aus der Überzeugung von dem Werthe der aufgestellten Hypothesen an sich, noch weniger in dem Gedanken, dass sich daraus einige Schlüsse auf die Verwandtschaftsverhältnisse der einzelnen Thiergruppen ziehen lassen, sondern lediglich deswegen, weil ich glaube, durch eine solche Darstellung eine klarere Übersicht von dem morphologischen Zusammenhang der verschiedenen Typen und von den Wechselbeziehungen der Funktion und der Form geben zu können. Viele Eigenthümlichkeiten im Bau der höheren Thiere und des Menschen erhalten eben durch ihre hypothetische Herleitung aus niederen Formen ihre hellste Beleuchtung.

Die niedrigste, ursprünglichste Anordnung der Extremitäten dürfte diejenige sein, wo eine Arbeitsvertheilung noch nicht durchgeführt ist, sondern ein und dasselbe Gelenk mehrere verschiedene Bewegungen ausführt und eine gewisse Bewegung in mehreren Gelenken zugleich geschieht. Eine Anordnung dieser Art finden wir in den Vordergliedmassen der Schwanzlurche, vieler Reptilien, sowie der Monotremen und einiger Edentaten unter den Säugethieren.

Als die höchste Stufe betrachte ich die vordere Extremität der Primaten, wo jede Bewegung ihr Gelenk hat, jedes Gelenk seine Bewegung ausführt, wo die Ab- und Adduktion in das Schultergelenk, die Flexion-Extension in das Humero-Antibrachialgelenk und die Rotation in das Radioulnargelenk verlegt ist. Nur so ist eine wirklich gute Präcision in den Bewegungen zu erreichen. — Dagegen muss schon hier hervorgehoben werden, dass ein Wegfallen des einen oder anderen Bewegungstypus aus den Funktionen eines Gelenkes keinen Rückgang zu bedeuten braucht, wenn nämlich andere Gelenke diese Bewegung übernehmen oder wenn sie für die jetzt vorhandene Anwendung des Organes unnöthig oder sogar schädlich geworden ist.

Im anatomischen Bau zeigt sich diese Ursprünglichkeit des Amphibiengelenkes theils in der relativ indifferenten kugeligen Form der Gelenkflächen, theils in der an allen Seiten ziemlich gleich starken, schlaffen Kapselwand ohne bestimmte ligamentöse Verstärkungen, ebenso in der Anheftung der Kapsel rings um die Ränder der Gelenkflächen. Alles dies gilt auch, wenn schon nicht in demselben Masse, von dem Ellenbogengelenke der meisten Reptilien und der Monotremen.

Auch scheint mir die Lage der Unterarmknochen zu einander sowie die Stellung der ganzen vordern Extremität bei diesen Thieren sehr primitiv zu sein. Die Unterarmknochen liegen einander vollständig parallel, die Speiche nach der Beugeseite, die Elle nach der Streckseite; durch die transversale Lage des Oberarms zur Körperachse kommt jene medial, diese lateral und die Hand also kephalwärts, mit dem Daumenrand medial gerichtet, zu liegen. Für die Ursprünglichkeit dieser Lage der Unterarmknochen spricht nach meiner Meinung u. a. die Anordnung der Muskeln am Unterarme. Bei den Amphibien und den Monotremen liegen die Muskeln viel mehr paralell der Achse des Gliedes, als bei den höhern Säugethieren, wo ja die Muskeln, grösstentheils mehr oder weniger spiral gewunden, von der einen Seite des Gliedes zur andern ziehen. Wird der Arm bei den letzteren Thieren in die entsprechende supinirte Stellung (bei den Primaten in halbe Supination) gebracht, so erhalten die Muskeln wieder eine mehr longitudinale Richtung. Auch die Ontogenie kann einen Wahrscheinlichkeitsbeweis dafür liefern. In der ersten Embryonalzeit liegt ja, wie wir gesehen haben, beim Menschen die Radiusanlage mehr als später nach vorne von der Ulna, nach der Flexionsseite hin.

Winge (70) ist einer anderen Ansicht; er nimmt als die ursprüngliche Lage der Unterarmknochen diejenige an, wo die Ulna und der Radius mit zwei wesentlich getrennten Gelenkköpfen am untern Ende des Humerus artikuliren; später soll (z. B. bei den Monotremen) der Radius durch Anpassung mehr medialwärts rücken und sich auf die ulnare Fläche ausbreiten. Weitere

Gründe, als dass sich eine solche Anordnung bei den niedriger stehenden Marsupialien und Insectivoren finden soll, führt er nicht an. Soviel ich sehen kann, ist aber eine solche seitliche Lage der Unterarmknochen für die genannten Thiere gar nicht charakteristisch. Im Gegentheil, der Radius liegt z. B. bei den Didelphiden, die Winge doch selbst als die niedrigsten der Marsupialien bezeichnet, nur wenig seitlich von der Ulna; und der Igel, der in der Insectivorenordnung ziemlich tief steht, hat ihn gerade vor der Ulna liegend. Dass übrigens eine Anpassung an das Graben durchaus nicht immer eine derartige Lage des Radius vor der Ulna zur Folge hat, zeigen die übrigen typischen Gräber. Bei Myogale liegt zwar der Radius ziemlich nach der Beugeseite hin, vor der Ulna, bei Scalops aber, und nach den Beschreibungen und Abbildungen von Stirling (68) sogar auch beim Beutelmaulwurfe (Notoryctes), finden wir ihn ganz an der lateralen Seite der Ulna.

Von jenem ursprünglichen Typus weicht das Ellenbogengelenk der Primaten in mehreren Beziehungen ab. Ulna und Radius, die in Pronationsstellung oben ziemlich neben einander liegen, um sich etwa in der Mitte des Unterarms zu kreuzen, haben an der Humerusrolle getrennte Gelenkflächen, deren Form ziemlich regelmässige Bewegungen sichert, und die Kapsel, die sich unten am Halse des Radius anheftet und den Kopf frei in die Gelenkhöhle hineinragen lässt, ist an bestimmten Stellen durch wohl begrenzte Bänder verstärkt.

Wie hat man sich nun den Gang der Entwicklung des letzteren Typus aus dem ersten, ursprünglicheren zu denken?

Was zuerst die **Lage der Unterarmknochen** zu einander betrifft, so ist eine pronirte, nach unten divergirende Lage derselben unschwer aus dem ursprünglichen Parallelismus herzuleiten. Sobald nämlich der Oberarm an die Körperseite (kaudalwärts) adducirt wird, wird die Flexionsseite des Ellenbogengelenks kephalwärts gerichtet und damit eine Drehung des Unterarms (durch die Pronatoren) nöthig, um die Hand in der zweckmässigen Richtung nach vorn zu behalten. Diese Stellung der Unterarmknochen finden wir bei verschiedenen Thieren (Tatusia, Cycloturus, Igel, Hase etc.); dagegen haben die Monotremen sie noch nicht erreicht, was Tornier (69) behauptet. — Schon bei den genannten Thieren sehen wir jedoch eine kleine Neigung des Radius, lateralwärts zu rücken, und bei den übrigen können wir alle Übergangstadien finden. Die oberen Enden des Radius und der Ulna legen sich mehr und mehr neben einander; die Kreuzung der Knochen wird immer deutlicher und rückt immer tiefer herab. Das wahre Wesen und die Ursachen dieser Lagenveränderung der Knochen aufzuhellen, wird vielleicht einmal der vergleichenden Embryologie und ausgedehnteren anatomischen Untersuchungen gelingen, vorläufig kommen wir aber kaum über bescheidene Vermuthungen hinaus.

Tornier (90) nimmt eine Neubildung einer sekundären Gelenkfläche der Ulna »durch Verbreiterung des die primäre Fläche umsäumenden

Knochenrandes» und eine folgende Atrophie der primären Fläche an; zu gleicher Zeit soll der Ulnakörper schrittweise eine Drehung um seine Längsachse, einen Winkel von 90° betragend, machen, wodurch die Crista olecrano-styloidea und der Processus styloideus ulnæ von der lateralen auf die dorsale Seite des Knochens rücken. Tornier stellt diese Gelenkumwandlung ferner mit einer Vermehrung der Supinationsfähigkeit in Verbindung, geht aber auf das Wie und das Warum nicht näher ein. Von der Richtigkeit seiner Lehre von der Ulnarotation habe ich mich trotz guten Willens nicht überzeugen können. Bei den Monotremen liegt schon der Griffelfortsatz und die betreffende Crista an der Extensionsseite des Knochens (diese meint doch wohl Tornier mit der »hintern» Seite), und wir treffen dieselben mehr oder weniger an der lateralen Seite auch bei Thieren, wo die sonstige Lagenveränderung der Knochen dem Maximum nahe ist (Halbaffen, Lemur, Nycticebus, Perameles). Meinerseits würde ich eher an eine wirkliche Verschiebung (man könnte vielleicht Subluxation sagen) der Unterarmknochen an der Humerusrolle und eine dadurch eintretende Wanderung der Gelenkflächen an dieser glauben. Es könnte vielleicht der Supinator durch seine antagonistische Spannung bei der eben erwähnten Pronation das obere Ende der Speiche lateralwärts ziehen; es könnten auch die an der Ulna angreifenden Muskeln: der Epitrochleoanconæus, der mediale Tricepskopf und der Dorsoantibrachialis, die Ulna medialwärts ziehen oder umwälzen[1]). — Später könnte auch der Belastungsdruck die Umlagerung weiter führen.

Hiermit sei es aber vorläufig wie es wolle; jedenfalls müssen doch bei der Verrückung der Knochen die neuen Berührungsflächen mit Knorpel überzogen werden und die ausser Kontakt gesetzten den Knorpel wieder verlieren; die Gelenkknorpel werden dem veränderten Bewegungstypus gemäss durch passives Abschleifen oder durch Hyperplasie in Folge eines nutritiven Reizes in ihrer Gestalt umgeformt, alles nach den aus der normalen und pathologischen Anatomie wohlbekannten Gesetzen. In dieser Weise wird während der Phylogenese der für die Unterarmknochen gemeinsame Theil der Humerusrolle immer schmäler, bis er endlich ganz verschwindet und sich eine deutliche Abgrenzung der radialen von der ulnaren Fläche in dem Auftreten einer Führungsleiste kund giebt. — Erst jetzt können die Unterarmknochen, von einander unabhängig, auf der Humerusrolle Platz finden; erst jetzt kann die wünschenswerthe Kongruenz der Gelenkflächen und dadurch auch die erstrebte Präcision der Bewegungen gewonnen werden. Die Rota-

[1] Sollte vielleicht die kleine intracapsuläre Fläche am medialen Epicondylus bei Ornithorhynchus das erste Zeichen der Wanderung der Ulna sein?

tionsbewegungen drechseln die Flächen des Radiuskopfes und des Capit. humeri immer runder, und die ziemlich reinen Streck- und Beugebewegungen der Ulna geben ihr eine tiefere Incisura semilunaris und dem Humerus eine mehr ausgehöhlte Trochlea. Die grösste Vollendung in dieser Richtung finden wir bei den Halbaffen und Affen und beim Menschen, aber auch die auf einer viel tieferen Stufe stehenden Ordnungen der Beutelthiere und Zahnarmen können Repräsentanten aufweisen, die ein in derselben Richtung sehr gut entwickeltes Ellenbogengelenk haben (Bradypus, Perameles)[1]).

Einen von diesem weit entfernten, noch mehr specialisirten Typus finden wir bei den Ungulaten. Bei ihnen hat der Radius seine primitive Lage vor der Ulna beibehalten oder, vielleicht richtiger, wiedergewonnen. So viel man aus den Angaben und Abbildungen schliessen kann, die Hayden (63) von den aus der älteren Eocænperiode herstammenden Resten von Phenacodus und Periptychus, die man als die Urahnen der jetzt lebenden Unpaar- und Paarhufer betrachtet, mittheilt, hatten nämlich diese Thiere nicht nur beide Unterarmknochen gut entwickelt, sondern es scheint auch, als hätte bei ihnen der Radius am oberen Ende etwas lateralwärts vor der Ulna, dieselbe nach unten kreuzend, gelegen, und ebenso schliesst bei ihnen die Form der Gelenkflächen eine mässige Rotationsfähigkeit nicht aus. Die Abkömmlinge dieser Thiere hatten in ihren Existenzbedingungen keine supinatorische Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes nöthig; es konnte also die freie Gelenkverbindung zwischen Ulna und Radius schwinden, und da dieser schon allein die Körperlast zu tragen vermochte, konnte jene bis auf ihren jetzt allein funktionell wichtigen Theil, das Olecranon, einer Reduktion anheimfallen[2]). Dagegen war eine möglichst vollkommene Präcision in den Beuge- und Streckbewegungen wünschenswerth, und ebenso eine Sicherstellung gegen seitliche Einknickung, die bei dem allmähligen Längenzuwachs der distalen Segmente der Gliedmassen immer drohender wurde, weshalb wir auch eine Verbreiterung der radiohumeralen Gelenkflächen sowie eine Bildung von Leitfurchen und in die-

[1]) Bemerkungswerth ist es auch, dass, während die Kongruenz der Gelenkflächen in der Gewohnheitshaltung des Gelenks immer ziemlich vollständig ist, in den weniger oft eingenommenen Stellungen eine bedeutende Dehiscenz der Flächen bestehen kann. Bei den meisten Thieren passen daher die Knochen bei Pronation viel besser auf einander, als bei Supination. Sehr deutlich ist dieses bei den Carnivoren (Eisbär) zu sehen.

[2]) Ich kann die Ansicht Kovalevskys (66), der die Reduktion der Elle als das Primäre auffasst und daraus das Verschwinden des Supinationsvermögens und die weiteren Umbildungen des Gelenks herleitet, nicht theilen. In der theoretischen Deduktion ist dieses zwar der natürliche Weg, aber die phylogenetische Entwickelung hat ihn sicherlich in der entgegengesetzten Richtung durchlaufen.

selben eingreifenden Leisten bei den Ungulaten auftreten sehen. Paläontologisch können wir die Entwicklung dieses Typus bei den Vorfahren des Pferdes direkt verfolgen. Unter jetzt lebenden Thieren (Proboscidea, Ruminantia und Suidæ) können wir leicht eine künstliche Reihe zusammenstellen, die mit der phylogenetischen eine ziemlich grosse Ähnlichkeit hat.

In der Verstärkung der Speiche auf Kosten der Elle, in der grösseren Breite ihres Kopfes und in der Andeutung von Leitfurchen zeigen auch die Hasen und Hunde eine gewisse Übereinstimmung mit den Hufthieren, was selbstverständlich als Beispiel einer funktionellen Konvergenz aufzufassen ist. — Aus ganz anderen praktischen Bedürfnissen, und doch aus ähnlichen mechanischen Anforderungen, entsprang der etwas an den Ungulatentypus erinnernde Bau des Ellenbogengelenks bei den Fledermäusen[1]).

Aus dem Gesagten geht deutlich hervor, wie schwierig es ist, ja dass es oft sogar unmöglich sein muss, die streng homologen Punkte an zwei verschiedenen, aber homologen Gelenken zu bestimmen. Lässt man z. B. mit Cuenod (60) die Gestalt der Gelenkflächen für die Homologien massgebend sein, so müsste man die bei den Fledermäusen vorkommende Furche in der Mitte der Humerusrolle, die der Führungsleiste am Radiuskopf angehört, als ein Homologon der menschlichen Trochlea auffassen; sollte dagegen, wie Kadyi (64) meint, der Kontakt mit einem gewissen Knochen oder Knochentheile die Homologie bestimmen, so würde die Trochlea des Seehundes nicht nur der Trochlea, sondern auch der Furche für den Rand des Radiuskopfes beim Menschen homolog sein. Das eine erscheint mir ebenso absurd wie das andere.

Die genannten Verfasser waren auch in der Wahl des Ausgangspunktes für ihre Betrachtungen über das Ellenbogengelenk der Säugethiere sehr unglücklich. Cuenod sieht im Gelenke des Tigers den primitiven Säugethiertypus, von welchem er bei der Vergleichung ausgeht; Kadyi wirft ihm dieses vor, wählt aber selbst das Ellenbogengelenk des Menschen (!) als Ausgangspunkt, zwar unter Reservation, aber zu wenig Frommen einer klaren Auffassung des wahren Sachverhaltes. Nur wenn man von den tiefer stehenden Klassen und Ordnungen zu den höhern übergeht, kann man sich eine annähernd richtige Vorstellung von dem Zusammenhang der verschiedenen Formen bilden.

Bei den mässigen Exkursionen in dem Ellenbogengelenke einer Amphibie oder eines Kloakenthieres und den verhältnissmässig geringen,

[1]) Dass bei den Frugivoren (Pteropus) für das Festhalten und Klettern an den Baumzweigen auch andere Bewegungen als nur Flexion-Extension zu Nutzen sind, scheint mir unzweifelhaft zu sein; hieraus liesse sich der bei den fruchtfressenden Fledermäusen weniger als bei den insektenfressenden ausgesprochene Ginglymuscharakter des Gelenks erklären.

auf dasselbe wirkenden Kräften kann wohl eine schlaffe, nahe an den Gelenkflächen inserirende **Kapsel** ohne stärkere Hilfsbänder ihren Zweck ziemlich erfüllen[1]). Sobald aber die Exkursionen umfänglicher und die Beanspruchungen stärker werden und dazu eine grössere Präcision der vorzugsweise ausgeführten Bewegungen nöthig wird, müssen wichtige Veränderungen eintreten. Der Zusammenhang des Gelenkes muss durch starke, je nach dem Bewegungsmodus verschieden angeordnete Ligamente gesichert werden. Wenn die Bänder die Bewegungen nicht hemmen sollen, müssen sie möglichst nahe der Bewegungsachse inseriren; und wenn sie der betreffenden Gelenkachse parallel verlaufen, müssen sie eine gewisse Länge haben, damit ihre Elasticität nicht zu stark beansprucht wird. — Demgemäss finden wir in der phylogenetischen Reihe einerseits die auftretenden Hilfsbänder beinahe alle von der Nähe der Flexionsachse, d. h. von der Wurzel der Epicondylen, ausgehend; andererseits sehen wir die Kapsel und die Bänder, welche den Radius mit dem Humerus verbinden, sich bei Zunahme der Drehbarkeit jenes Knochens um seine Achse weiter unten an demselben befestigen. Sowohl bei den Amphibien und den Monotremen, wie bei gewissen Edentaten sind die ersten Hilfsbänder eben in der Form diffuser Verstärkungen der Kapsel an ihrer medialen und lateralen Seite angelegt. Bald differentiren sich diese zu bestimmten, mehr oder weniger scharf begrenzten Faserzügen, die in den verschiedenen Gruppen wohl ziemlich wechseln, aber doch leicht auf einen gemeinsamen Typus bezogen werden können.

Die typische Anordnung der **Bänder** im Ellenbogengelenk der Säugethiere ist die folgende: Von der Gegend des medialen Gelenkknorrens zieht ein Lig. epitrochleo-anconæum zur innern Seite des Ellenbogenfortsatzes, ein zweites Band, das Lig. epitrochleo-coronoideum, geht nach unten zum distalen Ende der Incisura semilunaris, und ein drittes, das Lig. epitrochleo-radiale läuft zur medialen Seite des obern Speichenendes. Vom lateralen Knorren wäre zuerst ein Lig. epicondylo-anconæum zu erwarten; dies ist jedoch selten stärker entwickelt zu sehen. Dagegen finden wir sehr konstant ein zum lateralen (hintern) Ende der Incisura radialis an der Elle laufendes Lig. epicondylo-ulnare und ein gerade nach unten, zur lateralen Seite der Speiche ziehendes Lig. epicondylo-radiale. Sobald der Radiuskopf lateralwärts gewichen ist, kommt zu den genannten Bändern noch ein Lig. epicondylo-coronoideum, das schräg nach unten, zum Kronenfortsatz verläuft. — Typisch sind weiter die beiden Ligg. radioulnaria mediale und laterale an den

[1]) Beinahe ebenso einfach in dieser Hinsicht ist der Bau des Ellenbogengelenks bei gewissen Edentaten (Cycloturus, Tatusia).

Seiten des obern Radioulnargelenks. Auch ein Lig. radioulnare intermedium (Lig. carré, Denucé) ist gewöhnlich vorhanden.

Die Anordnung einiger dieser Bänder verdient eine etwas eingehendere Betrachtung. — Das Lig. epitrochleo-anconæum, das in Folge seiner Anheftung an der hintern Seite des medialen Epicondylus (oft sogar an der medialen Wand der Fossa olecrani) bei starker Flexion des Gelenkes gespannt wird, trägt dadurch zu der bei Carnivoren, Nagern u. a. nicht selten vorkommenden Schlussrotation in der Supinations- und Abduktionsrichtung bei. Von den Beutelthieren bis zu den Halbaffen finden wir es in der Regel gut entwickelt; bei den höherstehenden Affen und beim Menschen ist es viel schwächer und von dem übrigen Theil des Lig. collater. ulnar. weniger scharf abgegrenzt. — In dem ginglymusartigen Gelenke der Ungulaten fehlt es beinahe gänzlich.

Wenn sich der Unterarm während der Entwickelung mehr in Pronationslage stellt und der Radiuskopf nach aussen rückt, muss das Lig. epitrochleo-radiale seine Insertion mehr an der hintern Seite des Radius haben und den sich gleichzeitig entwickelnden Kronenfortsatz kreuzen. Bei jeder Pronation des Radius wird das Band gespannt, bei der Supination erschlafft es. Es wurde schon oben (S. 119) hervorgehoben, wie dieses Ligament zu der eigenthümlichen Kombination der Drehungen der Unterarmknochen mit einer gleichzeitigen Adduktion des Unterarms beiträgt. Auch der übrigen sich dabei betheiligenden Faktoren geschah Erwähnung. Diesen Mechanismus finden wir bei dem Seehunde, den Carnivoren, gewissen Nagern und Halbaffen mehr oder weniger gut entwickelt. Werden die Rotationsbewegungen grösser, so muss sich das Lig. epitr. rad., um sie nicht zu hemmen, verlängern und weiter nach unten inseriren (z. B. Perameles), oder auch muss es von seiner Verbindung mit dem Radius gelöst werden, wobei seine Fasern in die den Radiuskopf umgebende Kapselwand übergehen oder vielleicht an der Spitze des Kronenfortsatzes inseriren können. Solche Reste des Ligaments sind bei den Affen normal vorhanden, und auch beim Menschen haben wir sie als eine beinahe konstante Bildung kennen gelernt.

Das Lig. epicondylo-coronoideum besteht bei den höheren Thieren nicht selten aus zwei Theilen, einigen schwächeren, oberflächlichen Fasern, die, etwas höher entspringend, schräg über die vordere Kapselwand zur Spitze des Proc. coronoideus verlaufen und nicht selten mit der Brachialis- oder Bicepssehne in Verbindung treten, und einem stärkeren, tieferen Bande, das die vordere Fläche des Radiuskopfes in einem schwachen Bogen kreuzt, um sich am Kronenfortsatz gleich unterhalb der radialen Gelenkfläche zu befestigen. Der letztere Theil ist bei den Raubthieren sehr stark, und er hat sich auf dem Radiuskopf oft eine

schräge Furche angelegt (Vgl. Taf. IV Fig. 20). Durch die assymetrische Gestalt des Radiuskopfes wird er bei der Supination gespannt, wobei es wie ich oben gezeigt habe (S. 121), einen Zug auf den Proc. coronoid. ausübt, und eine Drehung und eine Abduktion der Ulna bewirkt; seine Aufgabe ist der des Lig. epitr.-radiale gewissermassen entgegengesetzt.

Wo keine oder nur unbedeutende Drehbewegungen vorkommen, befestigt sich das Lig. epicondylo-radiale oben am Rande des Radiuskopfes; je grösser die Rotationen werden, desto weiter nach unten rückt seine Insertion, bis es sich endlich, um die freie Beweglichkeit nicht zu hindern, vom Radius ablöst. Der Rest scheint in die Sehne des Supinator und vielleicht auch in das Lig. annulare überzugehen.

Das Lig. epicondylo-ulnare läuft von der untern Seite des lateralen Epicondylus zu der Ulna, unmittelbar hinter (lateralwärts von) der Incis. radialis. Hin und wieder treffen wir auch oberflächlichere Fasern, die etwas weiter nach unten zu derselben Seite der Ulna ziehen und die auch beim Menschen vorhanden sind [1]).

Die Ligg. radioulnaria mediale, laterale und intermedium sind ursprünglich ziemlich kurz und nahe den Gelenkflächen befestigt; sie schmelzen auch oft mit den Insertionen der Ligg. epicond. ulnare, epicond. coronoideum und epitr. radiale zusammen. Bei zunehmender Beweglichkeit der Knochen gegen einander muss natürlich ihre Verbindung gelockert werden. —

Wo die Rotationen einen grösseren Umfang erreichen, wo also die Circumferentia articularis sich um den Radiuskopf ausbreitet, muss die direkte Verbindung weiter nach unten, auf den Radiushals, verlegt werden. Auch finden wir z. B. bei den Carnivoren (Bär) an dieser Stelle ein sehr starkes, elastisches Lig. rad. uln. intermedium. Die Ligg. rad. uln. mediale und laterale gehen warscheinlich in die Ligg. epic. coronoideum und epic. ulnare über.

Erst spät in der Entwicklungsreihe treffen wir ein Lig. annulare radii im eigentlichen Sinne des Wortes. An der Bildung desselben sind jedoch nur wenige neu erworbene Elemente betheiligt; grössten-

[1]) Das beim Seehund (S. 122) beschriebene, zwischen den Extensormuskeln verlaufende Band scheint von diesem Lig. epicond. ulnare ganz unabhängig zu sein. Dem Anschein nach könnte jenes ganz gut ein degenerirter Muskelbauch sein; ich halte es aber für wahrscheinlicher, dass es nur aus einer Verdichtung des Fasciengewebes hervorgegangen ist. Beim Walrossembryo war es nur undeutlich zu sehen. Dagegen fand ich bei Lemur ein ähnliches Ligament, das vom lateralen Epicondylus zwischen den Streckmuskeln schräg nach unten zur Ulna verlief; vermuthlich ist es dasselbe Band, welches Keith (65) bei Hylobates beschreibt. Diesem Bande könnte man vielleicht die mit dem Supinator verwachsenen, dem Ext. carpi ulnaris angehörenden Sehnenfasern beim Menschen gleichstellen.

theils geht es aus der Verschmelzung der schon beschriebenen, nur wenig veränderten Ligamente hervor.

In einem nicht zu primitiven Ellenbogengelenk sind die Ligg. epicond. ulnare epic. radiale und epic. coronoideum gewöhnlich an ihrem Ursprung mit einander dicht verwachsen und divergiren dann nach unten. In dem grösseren Winkel zwischen den beiden letztgenannten Bändern liegt die Supinatorsehne, intim mit ihnen vereinigt. Solchergestalt wird um die laterale Hälfte des Radiuskopfes eine starke ligamentöse Kappe gebildet. Wird diese bei zunehmender, rotatorischer Beweglichkeit stärker auf ihre Festigkeit beansprucht, so sehen wir immer reichlichere, bogenförmige Fasern die Winkel zwischen den genannten Bändern überkreuzen. Dazu kommt noch, dass der Supinator, von dem einige Fasern auch von den nebenliegenden Bändern entspringen, um auf die Drehung des Radius stärker einwirken zu können, einen mehr transversalen Verlauf nimmt, und seinen Ursprung zum Theil von der Ulna hat. Seine Hauptsehne wird nämlich durch das rechtwinkelige Zusammentreten einer vom Epicondylus und einer von dem lateralen Rande des ulnoradialen Gelenkes kommenden Sehne gebildet [1]).

Die hintere laterale Seite des Radiuskopfes ist also von querlaufenden Fasern umgeben, und auch die vordere mediale Seite desselben wird von den hier ziemlich transversalen Fasern des Lig. epic. coronoid. umfasst. An der zwischenliegenden Strecke unter und vor dem Supinator ist die Kapsel dagegen sehr dünn und vor allem ohne hervortretende Querfasern. Die jetzt beschriebene Anordnung der Kapselverstärkungen um den Radiuskopf treffen wir bei den Carnivoren, bei vielen Nagern u. a. — Bei den Primaten, bei Chiromys und Lemur, vielleicht auch bei Bradypus, wird auch diese Lücke zwischen dem Lig. epicond. coron. einerseits und der Supinatorsehne, den Ligg. epicond. ulnare und epicond. radiale anderseits durch bogenförmige Fasern ausgefüllt. Erst jetzt kann man von einem wirklichen Ringband sprechen. — Immerhin sind sogar bei den höchsten Affen und auch bei dem Menschen die wirklich cirkulären, den Radius umfassenden Faserzüge äusserst spärlich vorhanden [2]).

[1]) Entweder können ein Theil seiner Fasern längs dem Lig. epicond. ulnare bis zur Elle hinübergewandert sein — Beispiele ähnlicher Wanderungen von Muskelinsertionen in der Phylogenese sind von Ruge u. a. angeführt worden —, oder auch hat der Muskel, und dieses scheint mir als wahrscheinlicher, durch die veränderte Zugrichtung das Lig. epic. ulnare in einem Winkel hervorgezogen und die ulnare Hälfte desselben als Ursprungssehne für sich in Anspruch genommen.

[2]) Cuenod (60) beschreibt beim Pferde Rudimente eines Lig. annulare. Einige transversale Fasern im Periost kommen wohl vor; denselben die genannte Deutung zu geben, scheint mir aber ohne jede Berechtigung zu sein.

Die Membrana interossea ist bei den Wirbelthieren einem starkem Wechsel unterworfen. Auch einander nahe stehende Thiere zeigen eine sehr verschiedene Entwickelung derselben; sie kann beinahe ganz fehlen und nur von der tiefen Muskelfascie vertreten sein, eine fortlaufende starke Membran oder begrenzte Bänder bilden, oder auch die dicht an einander liegenden Unterarmknochen durch kurzes, starkes Sehnengewebe mit einander verbinden. — Auch die Faserrichtung ist im allgemeinen sehr wechselnd und scheint keinen bestimmten Gesetzen unterworfen zu sein. — An der dorsalen Seite der Membran (d. h. an der Seite der Streckmuskeln), gewöhnlich oberhalb ihrer Mitte, laufen sehr häufig einige besonders starke, relativ selbständige Faserzüge, die entweder transversal gehen, oder öfter von der Ulna zum Radius hinabsteigen. Dieselben verdienen Beachtung theils wegen ihrer verhältnissmässig grossen Konstanz bei den Thieren, theils wegen ihres so gut wie normalen Vorkommens bei dem Menschen (s. o.).

Die Chorda obliqua des Menschen habe ich bei den Thieren nie in ihrer typischen Form wiederfinden können; höchstens habe ich eine geringe Verstärkung der Bindegewebszüge an den beiden Seiten der Brachialisinsertion und ein stärkeres Anheften dieser Züge an den Radius gesehen[1]).

Synovialhöhle. Wo ein Ligament bei den Bewegungen des Gelenkes über eine Knochenfläche gleitet, finden wir in der Regel eine Ausstülpung der Ob diese ursprünglich als ein vom Gelenk unabhängiger Schleimbeutel entsteht und später mit diesem in Kommunikation tritt, oder ob sie sich durch direkte Erweiterung der Gelenkhöhle entwickelt, darüber ist nichts mit Bestimmtheit zu sagen. Warscheinlich kann unter verschiedenen Umständen beides der Fall sein. — Die

[1]) Beim Chimpanzen fand ich einen kleinen, theilweise sehnig verwandelten Muskelkopf des Flex. dig. prof. (dig. II), der mit seinem Ursprung die Brachialissehne gabelig umfasste und sich am Radius etwas unterhalb der Bicepsinsertion befestigte; dieser Befund könnte vielleicht die früher erwähnte Ansicht Fawcett's (61) stützen, doch steht er allzu einzeln, um eine wirkliche Beweiskraft zu haben. Das äusserst wechselnde Verhalten der Chorda beim Menschen und das Fehlen jedes Haltepunkts in der ontogonetischen Entwickelungsgeschichte für die Herleitung dieser Bildung macht es mir wahrscheinlich, dass dieselbe als ein relativ neuer Erwerb des Menschen aufzufassen ist, der sich noch nicht vollständig fixirt hat. Den Anstoss zu seiner Entstehung gab einerseits die vermehrte rotatorische Beweglichkeit des Radius, wodurch die ursprünglichen Verbindungen dieses Knochens mit der Ulna gelockert wurden, andererseits das Verschwinden der ulnaren Bicepsinsertion, wodurch beinahe die ganze Kraft dieses Muskels (bei gebeugtem Arm) die Unterarmknochen von einander zu entfernen sucht.

Ausbreitung der Synovialhöhle an den Seitenflächen der Humerusrolle unterhalb der Epicondylen und die Entwicklung der Gelenkhöhle rings um den Radiuskopf sind Erscheinungen dieser Art. — Die Entwicklung der letzteren ist hauptsächlich durch die Pronations- und Supinationsbewegungen bedingt und dürfte in folgender Weise geschehen.

In dem primitiven Ellenbogengelenke der niederen Säugethiere ist nur diejenige Seite des Radiuskopfes frei, die mit der ihr entsprechenden Fläche an der Ulna die radioulnare Gelenkspalte begrenzt. Sonst befestigt sich die Kapsel genau am Rande des Radiuskopfes. Als Beispiele seien hier die Monotremen, Tatusia und Cycloturus angeführt. Bei Zunahme der Bewegungen sehen wir einerseits die genannte Fläche sich nach den Seiten hin ausbreiten, andererseits Ausstülpungen an anderen Stellen am Radiuskopfe auftreten, und zwar da, wo ihm die Bänder härter anliegen. Es scheint, als wäre der Druck des Lig. epicond. rad. und der Supinatorsehne auf die vordere laterale Seite des Capitulum radii der erste Anlass zu einer Ausbreitung der Gelenkhöhle auf den seitlichen Umfang des Radiuskopfes. — Schon bei Hatteria treffen wir an dieser Stelle eine Ausstülpung, und bei einer grossen Anzahl von Säugethieren (Manis, Tarsius u. a.) tritt der Kapselansatz an dieser Seite am weitesten hinab. — Es bildet sich dann eine ähnliche Synovialausbuchtung auch an der vordern medialen Seite unter dem Lig. epicond. coron. (und der Brachialissehne). Bei verschiedenen Nagern, Carnivoren u. a. sehen wir die Gelenkhöhle sich an den beiden genannten Stellen bis auf den Radiushals hinab erstrecken, während ein Theil der Vorderfläche des Capitulum rad. ausserhalb der Kapsel liegen bleibt. Die so entstandene Synovialtaschen sind an jeder Seite von der radioulnaren Gelenkspalte durch eine gewöhnlich sehr dünne vertikale Duplikatur der Synovialmembran, die sich oft eine Strecke am Rande des Radiuskopfes fortsetzt, getrennt. Vielleicht sind diese Falten Reste der Ligg. radioulnaria.

Allmählich tritt der Kapselansatz auch an der vordern Seite auf den Hals hinab und die Duplikaturen verschwinden. Von der hinteren dieser Falten bleibt aber lange ein Rest in der Form eines freien, von der lateralen Kapselwand zum hintern lateralen Rande der Fovea ziehenden Lig. teres radii bestehen. Dieses Bändchen war bei etwa der Hälfte der untersuchten Säugethiere vorhanden und wechselte von einem starken, fettreichen Ligamente (Bradypus, Lemur) bis zu einem feinen Bindegewebsfaden (Meles u. a.)[1]. Wenn auch das Lig. teres verschwindet, so haben wir den Radiuskopf mit dem Kapselansatz

[1]) Beim Hunde und beim Macacus habe ich am vordern Umfange das Radiuskopfes ähnliche feine Faden gesehen.

rings um den Hals frei in die Gelenkhöhle hineinragend, wie es bei gewissen Carnivoren (Ursus, Meles), bei den höheren Affen und beim Menschen der Fall ist[1]).

Schleimbeutel unter und zwischen den Muskelsehnen kommen da vor, wo die Sehnen bei den Bewegungen auf ihrer Unterlage gleiten oder von derselben abgehoben und ihr wieder genähert werden. Ihr Vorkommen ist deswegen grösstentheils von dem Umfang der Exkursionen im betreffenden Gelenke bedingt; bei kleineren Bewegungen können sie von lockerem Bindegewebe ersetzt werden.

Bei den Amphibien traf ich keine solche Bursen, bei den Reptilien nur beim Alligator eine kleine um die Humeroradialissehne. Bei den Vögeln sind sie häufiger und haben oft Kommunikation mit dem Gelenk. Bei den Säugethieren war unter den Schleimbeuteln dieser Region der unter der Hauptsehne des Triceps befindliche der konstanteste. Bei den Monotremen, den Edentaten, gewissen Marsupialien, den Talpiden und den Fledermäusen fehlte derselbe jedoch, oder er war nur schwach angedeutet. Auch die Bicepsbursa ist sehr häufig, und kommt auch bei Thieren vor, wo jede Drehung des Radius ausgeschlossen ist; beim Bären und bei Manis kommunicirt sie mit dem Radioulnargelenk. Weit weniger konstant und viel mehr wechselnd in ihrer Lage und Anordnung ist die Bursa zwischen der Brachialissehne und dem Radiuskopf, ebenso die Bursen der an den Epicondylen entspringenden Muskeln. Bei den Hufthieren, aber auch bei den stärkeren Läufern der Ordnungen der Carnivoren und der Nagethiere (Hund, Hase) sind die letzteren Synovialbeutel besonders gut entwickelt und stehen oft in sehr weiter Verbindung mit dem Gelenk[2]).

---

[1]) Die von mir untersuchten Thiergelenke können wohl nicht alle genau in die jetzt beschriebenen Entwicklungstypen hineingezwängt werden; wesentlichere Abweichungen fand ich aber keine. Von Interesse ist noch zu sehen, wie in der Ordnung der Beutelthiere, die wohl doch eine von den Placentalien frei stehende, monophyletische Gruppe bilden, dieselben Entwicklungstypen vertreten sind, die ich eben bei den Placentalien geschildert habe. Didelphys hat nur eine laterale Ausstülpung mit einer gut entwickelten hintern Duplikatur; vorne befestigt sich bei ihm die Synovialis oben am Rande des Radiuskopfes. Bei Trichosurus, Macropus, Phascolarctos und Myrmecobius ist von der Duplikatur nur ein freies Lig. teres übrig. Dieses fehlt bei Perameles, und die Gelenkhöhle erstreckt sich hier ringsum auf den Radiushals hinab, wieüberhaupt das Gelenk ebenso weit differentirt ist, wie z. B. bei den Carnivoren und den Halbaffen.

[2]) Eine subcutane Bursa über dem Olecranon fand ich nur bei einem Pavian (Menagerieexemplar).

Fibröse oder knorpelige, seltener knöcherne **Sesamoidbildungen** finden wir hauptsächlich in den Sehnen des Triceps und des Supinators. In der ersteren Sehne haben wir sie vor allem bei den Thieren zu suchen, wo das Olecranon sehr kurz ist und die Sehne daher direkt auf die hintere Seite der dabei gewöhnlich verdickten Humerusrolle presst, d. h. bei den Amphibien und den Reptilien, bei den Vögeln und den Fledermäusen. Dann aber kommen sie auch bisweilen bei den eigentlichen Lauforganismen (z. B. beim Hasen) vor, wo die Sehne nur auf die obere Fläche des Olecranon drückt, aber keine erhebliche Gleitung vorhanden ist. Wo die Supinatorsehne sich um einen stark hervorspringenden Radiuskopf windet (bei mehreren Carnivoren und Insectivoren, bei Manis u. a.), kann sie eine Verdickung oder einen Sesamoidknorpel zeigen. Die Kreuzung und Verfilzung der vom Epicondylus later. ausgehenden Ligamente, der Bogenfasern und der Supinatorsehne mit einander kann hier die Bildung von Sesamoidkörpern begünstigen. Fürbringer (62) hat die Prädisposition solchen Gewebes für Knorpel- und Knochenbildung nachgewiesen.

In den Mechanismus und die Phylogenese der **Armmuskulatur** tiefer einzudringen, ist hier nicht der Platz; auch wären dazu anderes Material und specielle Untersuchungen nöthig. Die nahen Wechselbeziehungen zwischen dem Gelenke und den an demselben arbeitenden Muskeln sind jedoch zu wichtig, um hier ganz übergangen zu werden. Von besonderem Interesse ist es, den Funktionswechsel der Muskeln bei Veränderungen des Bewegungstypus und der relativen Beanspruchungen zu betrachten. — Erst jedoch einige Worte über die kurzen Cubitalmuskeln, die bei sämtlichen Wirbelthieren nur für das Ellenbogengelenk (incl. das Radioulnargelenk) bestimmt sind. Der M. epitrochleoanconæus ist bei den Monotremen, bei gewissen Edentaten und den Talpiden hauptsächlich ein Abductor des Unterarms; seine Ansatzrichtung geht zu nahe der Flexionsachse und der Rotationssachse der Ulna, als das er auf Bewegungen um diese Achsen erheblicher einwirken könnte. Die abducirende Wirkung des Muskels wird bei höher stehenden Thieren bedeutend schwächer; er kann aber bei einer stärkeren Verbreiterung der Ulna nach hinten, wodurch seine Richtung von der Rotationsachse mehr entfernt wird, als ein Supinator ulnæ wirksam sein (Seehund). Wenn aber die Seiten- und Drehbeweglichkeit der Elle aufhört und der Ginglymuscharakter des Humeroulnargelenks reiner wird, rückt der Ansatz des Epitrochleoanconæus am Humerus weiter nach oben von der Flexionsachse (Hase), wodurch dieser Mu-

skel vor allem als Extensor wirkt, oder auch wird er mehr oder weniger sehnig verwandelt (höhere Affen, Mensch), oder aber er verschwindet spurlos (Hufthiere).

Einen ähnlichen Funktionswechsel sehen wir den epicondylären Kopf des Triceps (den Anconæus IV) durchmachen. Bei den Monotremen imponirt er als ein ziemlich selbständiger Muskel mit überwiegend pronatorischer Wirkung auf die Ulna. Bei den höheren Thieren, wo der äussere Epicondylus viel weniger hervorragt und der Ursprung des genannten Muskels hinter und oberhalb der Flexionsachse verlegt ist, wirkt er als Strecker und fliesst mit den übrigen Theilen des Triceps intim zusammen. Der Pronator teres und der Supinator (brevis) sind bei den Amphibien, Monotremen u. s. w. ziemlich reine Antagonisten mit hauptsächlich adducirender und abducirender, aber nur wenig drehender Wirkung. Das starke Hervorragen der Epicondylen giebt ihnen einen für jene Bewegungen sehr günstigen Angriffswinkel. Wenn die Seitenbewegungen des Gelenks abnehmen, können sich die genannten Muskeln in den Dienst der Flexion stellen, oder auch ihre den Radius drehende Wirkungen weiter entwickeln. — Das erste gilt hauptsächlich für den Pronat. teres, dessen humerale Insertion höher nach oben, über die Flexionsachse, aufrückt. Für Rotationsbewegungen sind beide Muskeln um so mehr geeignet, je mehr transversal sie am Radius angreifen und einen je grösseren Bogen sie um den Knochen und die Bewegungsachse machen. Besonders am Supinator sehen wir Veränderungen dieser Art eintreten. Seine Faserrichtung wird mehr quer gerichtet, dies sowohl durch Aufrücken seiner radialen Insertion bis an den Hals des Radius, wie auch dadurch, dass er seinen Ursprung von der Ulna nimmt. — Wenn das Gelenk für die drehenden oder seitwärtsbewegenden Momente der genannten Muskeln keine Anwendung hat und diese auch durch ihren Ursprung nahe der Achse für die Flexion indifferent sind (es ist dies z. B. bei den Ungulaten und den Chiropteren der Fall), sehen wir sie sehnig atrophiren[1]). Auch in den langen, sehnigen Fasern, die wir in der oberflächlichen Schicht des Supinator bei vielen Thieren und auch beim Menschen finden, sehe ich den Ausdruck einer Beschränkung des Kontraktionsspielraumes. Ein vom Anfang an für grosse Verkürzungen (für eine grosse Hubhöhe) angelegter Muskel, der in Folge von Veränderungen im Skelett oder aus anderen Ursachen bei den habituellen Bewegungen nur geringe Verkürzungen ausführen kann, braucht nicht so lange Muskelfibern wie früher; diese werden, bis ihre Länge dem neuen Kontraktionsspiel-

[1]) Beim Füllen soll man noch muskulöse Fasern des Pronator teres finden, wo beim erwachsenen Pferde nur Sehnenfasern vorkommen.

raume proportional ist, allmählich von Sehnenfasern ersetzt. — Die Abhängigkeit der Länge der Muskelfasern von ihrer Leistungsgrösse, hat schon E. F. Weber nachgewiesen; verschiedene Beispiele davon haben Fürbringer (62) u. a. angeführt.

Der Brachialis anticus ist stets nur ein Flexor; der Biceps kann ausserdem als ein Supinator radii wirken, wenn er nämlich (wie beim Menschen) an einem drehbaren Radius allein inserirt. Sendet er auch eine Sehne zur Ulna, was äusserst häufig vorkommt, so wird dadurch sein Supinationsvermögen aufgehoben oder wenigstens in hohem Grade beschränkt. Die doppelte Insertion ist in der Hinsicht von Interesse, als bei der Strecklage des Ellenbogengelenks die ulnare Sehne gewöhnlich schlaff ist und dann die ganze Kraft des Muskels auf den Radius wirkt, während bei gebeugter Stellung, wo der Muskel rechtwinklig oder sogar in einem distalwärts offenen, spitzen Winkel auf den Unterarm angreift, nur die ulnare Sehne sich spannt und dadurch den ganzen Zug auf die Ulna überträgt. Bei der letzten Lage würde bei nur radialer Insertion der Muskelzug den Radiuskopf von dem Capitulum humeri nach oben ziehen und also die Unterarmknochen von einander zu entfernen streben. Durch die genannte doppelte Insertion ist diese Gefahr beseitigt. Bei der Strecklage besteht diese Gefahr nicht, denn dann wirkt der Zug annähernd in der Längsrichtung des Unterarms und der Radiuskopf wird hauptsächlich nur fester an das Capitulum angedrückt. — Als die ursprünglichere Anordnung fasse ich die sowohl radiale, wie ulnare Insertion auf. Nicht nur ist dies, wie Leche (67) hervorhebt, bei der Mehrzahl der tiefer stehenden Thiere der Fall, sondern auch da, wo der Radius und die Ulna straff mit einander vereinigt sind und daher eine ulnare Insertion von keiner Bedeutung ist, sehen wir nicht selten eine solche Insertion (viele Hufthiere, Pteropus).

Die langen Handgelenk- und Fingermuskeln, die von den Epicondylen entspringen, haben bei den tiefer stehenden Thieren nicht unbedeutende Wirkungen auf das Ellenbogengelenk. Bei den Amphibien, Reptilien und Vögeln sehen wir sogar die Homologa mehrerer dieser Muskeln an den Unterarmknochen inseriren und also ihre direkte Wirkung auf das Ellenbogengelenk beschränken. Bei den letzt genannten Thieren, ebenso bei den Monotremen, den Talpiden u. a. bewirken sie hauptsächlich Ab- und Adduktion des Unterarms. Bei höher stehenden Gruppen sind sie überwiegend accessorische Flexoren und Extensoren. Bei den Laufthieren und den Chiropteren, wo die Epicondylen stark nach unten ragen und ihre Insertionen sich unter der Flexionsachse befinden,

haben sie eine grosse Bedeutung als Extensoren[1]). — Wo aber eine grössere Unabhängigkeit der verschiedenen Gelenke, eine möglichst vollständige Arbeitsvertheilung nöthig ist, müssen sich ihre Ursprungssehnen der Flexionsachse nähern. Beim Menschen und bei den höheren Affen ist es nur der Brachioradialis, der eine stärkere Wirkung auf das Ellenbogengelenk hat; hier hat er aber auch seine frühere Insertion an der Hand verlassen und ist jetzt nur ein Muskel des Ellenbogengelenks geworden.

[1]) Sehr oft findet man auch, dass die radialen Extensorsehnen nicht, wie beim Menschen, auf der dorsalen Fläche der Carpalgegend verbleiben, sondern sich um den Radius schlagen und auf die Beugeseite des Handgelenks kommen. Sie wirken also hier als Flexores carpi.

Litteratur.

Anthropologie.

1. Bertaux, T. A. L'humérus et le fémur. Thèse de Lille 1891.
2. Broca, P. La torsion de l'humérus et le tropomètre. Revue d'anthrop. Bd. X (1881).
3. Gegenbaur, G. Über die Drehung des Humerus. Jenaische Zeitschr. f. Medic. u. Naturwiss. B. IV (1868).
4. Gruber, W. Monographie d. Canal. supracond. hum. und der Process. supracondyl. hum. et fem. etc. Mem. Acad. Petersburg. T. VIII (1859).
5. Holl, M. Über die Entwickelung der Stellung der Gliedmassen des Menschen. Sitz. Ber. d. Wien. Acad. Math. Nat. Cl. Bd. C, 3 (1891).
6. Lambert, M. M. Note sur la torsion de l'humerus chez l'homme. Comptes rendus hebd. soc. de Biol. Paris 1892.
7. Lucæ, G. Die Stellung d. Humeruskopfes z. Ellenbogengelenk beim Europäer u. Neger. Arch. f. Anthrop. Bd. I (1867).
8. Martins, Ch. Nouvelle comparaison des membres pelviens ou thoraciques chez l'homme etc. Mém. Acad. Montpellier III (1857) *.
9. Nicolas. Nouvelles observations de l'apophyse susépitr. chez l'homme. Revue biolog. du Nord de la France III (1890—1).
10. Potter, P. The obliquity of the arm of the female in extension etc. Journ. of Anat. a. Phys. Vol. XXIX (1895).
11. Rosaire, E. L'angle de déclinaison de l'humérus. Thèse de Lyon 1892.
12. Schmid, F. Ueber die gegenseitige Stellung der Gelenk- und Knochenaxen der vorderen und hinteren Extremität bei Wirbelthieren. Arch. f. Anthrop. Bd. VI (1873).
13. Testut, L. L'apophyse sus-épitrochléenne chez l'homme. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Phys. Bd. VI (1889).
14. Wiedersheim, R. Der Bau des Menschen als Zeugniss für seine Vergangenheit, Freiburg u. Leipzig 1893.

Architektur der Knochen.

15. Aeby, Ch. Zur Architectur d. Spongiosa. Centralbl. f. Medic. Wissensch. 1873.
16. Bardeleben, K. Beiträge zur Anatomie d. Wirbelsäule. Jena 1874 *.
17. Eichbaum. Beiträge z. Statik u. Mechan. d. Pferdeskelets. Festschrift, Giessen 1890 *.
18. Hirsch, H. H. Die mechanische Bedeutung der Schienbeinform. Berlin 1895.
19. Langerhans, P. Beiträge zur Archit. d. Spongiosa. Virch. Arch. LXI. (1874).
20. v. Meyer, H. Die Architektur der Spongiosa. Arch. f. Anat. Phys. u. Wiss. Medic. 1867.

21. v. Meyer, H. Zur genaueren Kenntniss der Substantia spongiosa d. Knochen. Beitr. z. Biol., Festg. für v. Bischoff. Stuttgart 1882.
22. Nicoladoni, C. Die Architectur der scoliot. Wirbelsäule. Denkschr. Wien. Akad. Math. Nat. Cl. Bd. LV (1889).
23. Rasumowsky, W. Beitrag zur Architectonik des Fussskelettes. Intern. Monatschr. f. Anat. u. Phys. Bd. VI 1889.
24. Rauber, A. H. Elasticität u. Festigkeit d. Knochen. Leipzig 1876 *.
25. Roux, W. Beiträge z. Morphol. d. funct. Anpassung. (Knöcherne Kniegelenksanchylose.) Arch. f. Anat. u. Phys. An. Abth. 1885.
26. ———. Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin. Klin. Wochenschr. 1893.
27. Wolff, J. Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin 1892.
28. ———. Über die innere Architektur der Knochen u. ihre Bedeutung f. d. Frage vom Knochenwachsthum. Virch. Arch. Bd. L (1870).
29. Wolffermann, H. Beitrag zur Kenntniss der Architektur der Knochen. Arch. f. Anat. Phys. u. wiss. Med. 1872.
30. Zschokke, E. Weitere Untersuchungen über das Verhältniss der Knochenbildung zur Statik u. Mechanik d. Vertebratenskelettes. Zürich 1892.

Mechanismus.

31. Braune, W. u. Fischer, O. Die bei der Untersuch. v. Gelenkbeweg. anzuwend. Methode. Abh. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. XIII (1885).
32. ———. Untersuch. üb. d. Gelenke d. menschl. Armes. Abh. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. XIV (1887).
33. Braune, W. u. Flügel, A. Ueber Pronation und Supination des menschlichen Vorderarmes und der Hand. Arch. f. Anat. u. Phys. An. Abth. 1882.
34. Braune, W. u. Kyrklund, K. Ein Beitrag zur Mechanik des Ellenbogengelenkes. Arch. f. Anat. u. Phys. An. Abth. 1879.
35. Cathcart, C. W. On the movements of the Ulna in pronation and supination. Journ. of Anat. a. Phys. XIX (1885).
36. Cunningham. Elbowjoint. Journ. of Anat. a. Phys. XXIII (1889).
37. Duchenne, G. B. Physiologie der Bewegungen. Cassel und Berlin 1885.
38. Dumur, J. Recherches exper. sur la Mécanique des articulations radio-cubitales. Thèse de Bordeaux 1889.
39. Dwight, Th. Rotation and Circumduction. Journ. of Anat. a. Phys. XIX (1885).
40. ———. The movements of the ulna in rotation of the forearm. Journ. of Anat. a. Phys. XIX (1885).
41. Flesch, M. Über die Pronation und Supination d. Hand unter phys. u. pathol. Verhältn. Corresp. Blatt f. Schweitz. Ärzte. XV (1885).
42. ———. Zur Pronation und Supination der Hand. Arch. f. Anat. u. Phys. An. Abth. 1885.
43. Heiberg, J. De la rotation de la main. Comptes-rendus du Congrès internat. de Copenhague 1884. Tom. I. (Discussion).
44. ———. The movements of the ulna in rotation of the forearm. Journ. of Anat. a. Phys. XIX (1885).
45. ———. Über die Drehung des Vorderarms. Christ Vidensk. selsk. Forh. 1883, N:o 8.
46. ———. Zur Geschichte d. Lehre von d. Drehung d. Hand. Kristiania Vidensk. selskabs Forhandl. 1883, N:o 11.
47. Lecomte. Du mouvement de rotation de la main. Arch. gener. de medic. 1874, II.
48. ———. Le coude et la rotation de la main. Arch. gener. de medic. 1877, I.

49. Meissner, G., Locomotion, Ellenbogengelenk, in Ber. ü. Fortschr. d. Anat. u. Phys. im J. 1856.
50. v. Meyer, H. Einige Worte über Beugung, Streckung, Supination und Pronation. Arch. f. Anat. Phys. u. wiss. Med. 1866.
51. ———. Über die Drehung des Unterarms. Deutsche Zeitschr. f. Chir. XX. 1884.
52. Welcker, H. Über Pronation und Supination des Vorderarmes. Arch. f. Anat. Phys. u. wiss. Med. 1875.

Entwickelung.

53. Bernays, A. Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenkes des Menschen, etc. Morph. Jahrb. IV (1878).
54. Henke, W. u. Reyher, C. Studien über die Entwickelung der Extremitäten des Menschen etc. Sitzungsb. d. Wiener. Akad. Math.-Nat. Cl. 1874.
55. Hueter, C. Anatomische Studien an den Extremitätgelenken Neugeborener u. Erwachsener. Virch. Arch. XXVI (1863).
56. Schulin, K. Ueber die Entwickelung und weitere Ausbildung der Gelenke des menschlichen Körpers. Arch. f. Anat. u. Physiol. Anath. Abth. Jahrg. 1879.
57. Schwegel. Die Entwickelungsgeschichte der Knochen des Stammes und der Extremitäten, mit Rücksicht auf Chirurgie, Geburtskunde und gerichtliche Medicin. Sitzungsber. der Wiener Akademie Math.-Naturwiss. Cl. Bd. XXX (1858).

Vergleichende Anatomie.

58. Aeby, Chr. Ueber das leitende Princip bei der Differenzirung d. Gelenke. Beitr. z. Anat. u. Embr., Festgabe an J. Henke. Bonn 1882.
59. Corner, E. Some Structures in the Elbowjoint. Journ. of Anat. a. Phys. XXX (1896).
60. Cuenod, A. L'articulation du coude. Etude d'Anatomie comparée. Internat. Mon. f. Anat. u. Phys. V (1888).
61. Fawcett, E. The morphology of the oblique radioulnar ligament. Journ. of An. and Phys. XXIX (1895).
62. Fürbringer, Max. Untersuchungen zur Morphologie und Systematik der Vögel. II Allgemeiner Theil. Amsterdam 1888.
63. Hayden. Report of the United States geolog. survey of the Territ. Vol. III.
64. Kadyi, H. Ueber die Gelenkflächen des Ellenbogengelenks. Festschrift für Leuckart. Leipzig 1892.
65. Keith, A. The Ligaments of catarrhine Monkeys etc. Journ. of Anat. a. Phys. XXVIII (1893).
66. Kovalevsky, W. Sur l'Anchitherium aurelian etc. Mem. Acad. Petersbourg VII, 20. N:o 5. 1873.
67. Leche, W. Säugethiere. Bd VI, 5 von Bronn's Klassen und Ordnungen. Leipzig u. Heidelberg.
68. Stirling, E. C. Descript. of a new genus and species of Marsupialia (Notoryctes typhlops.) Transact. of royal soc. of S. Australia. 1891.
69. Tornier, G. Fortbildung und Umbildung des Ellenbogengelenks etc. Morph. Jahrb. XII (1887).
70. Winge, H. E Museo Lundii Bd I. Jordfundne og nulevende Gnavere etc. Kopenhagen 1888.
71. ———. E Museo Lundii Bd II, 1. Jordfundne og nulevende Pungdyr etc. Kopenhagen 1893.

72. Bardenheuer, B. Die Verletzungen der oberen Extremitäten. Deutsche Chirurgie. Lief. 63. Stuttgart 1888.
73. Collins, A. Ward. On a second bursa connect. with the insert. of biceps. Journ. of Anat. a. Phys. XX (1886).
74. Gruber, W. Monographie der Bursae mucosae cubitales. Mém. Acad. Pétersbourg. Sér. VII. Tome 10, N:o 7 (1867).
75. Hammar, J. A. H. Bidrag till ledgångarnes histologi. Akad. Afh. Upsala 1892. Auch in Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. XLIII (1894).
76. Henke, W. Anatomie und Mechanik der Gelenke. Leipzig u. Heidelberg 1863.
77. Kulaevsky, M. Musculi subcrurales et subanconæi. Arch. f. Anat. Phys. u. wiss. Med. 1869.
78. Lamont, J. C. Note on an oblique inteross. radiouln. ligam. found in the Punjabi. Journ. of Anat. a. Phys. XXX (1896).
79. Langer, K. Zur Anatomie u. Physiol. d. Haut. Sitz. ber. d. Wiener Akad. Math.-Nat. Cl. XLIV u XLIV. 1861–62*.
80. Lesshaft, P. Grundlagen der theoretischen Anatomie I. Leipzig 1892.
81. ———. Über die Vorrichtungen in den Gelenken zur Milderung der mit den Bewegungen verbundenen Stösse und Erschütterungen. Anat. Anz. I (1886).
82. Löhr, P. Über den Sulcus præauricularis des Darmbeins etc. Anat. Anz. IX (1894).
83. Macalister, A. Sesamoidbone in the tendon of supinator brevis. Journ. of Anat. a. Phys. III (1869).
84. Martins, R. Über Gelenkmuskeln beim Menschen. Strassb. Inaugur. Diss. Erlangen 1874.
85. v. Meyer, H. Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. Leipzig 1873.
86. ———. Das Ellenbogengelenk. Arch. f. Anat. Phys. u. wiss. Med. 1866.
87. ———. Über Bestimmung der Gelenkflächen. Verh. d. X intern. med. Congr. Berlin. Bd. II (1891).
88. v. Santvoord, R. Dislocation of the head of the rad. downward. New York med. Journ. 1887.
89. Schüller, M. Die chirurg. Anat. d. obern. Extrem. Berlin 1882.
90. Tornier, G. Das Entstehen der Gellenkformen Arch. f. Entw. Mech. I (1894).

* Dem Verf. nur durch Referate bekannt.

Erklärung der Tafeln.

Taf. I.

Sägeschnitte durch die Knochen des menschlichen Ellenbogengelenks.

(Photographien; etwas verkleinert.)

Fig. 1—10. **Humerus.**

Fig. 1. Frontaler Längsschnitt durch die Mitte des Knochens.
» 2. Sagittaler Längsschnitt (etwas schräge) durch das Capitulum hum.
» 3. » » durch die Mitte der Trochlea.
» 4. » » (etwas schräge) durch den medialen Randtheil der Trochlea.
» 5. » » » durch der Epicondylus medialis.
» 6. Querschnitt durch den Gelenktheil (etwas oberhalb seiner Mitte).
» 7. » durch die Fossa olecrani.
» 8. » etwas oberhalb der Fossa olecrani.
» 9. » 3 cm oberhalb des vorigen Schnittes.
» 10. » etwas unterhalb der Tuberositas deltoidea.

Fig. 11—16. **Ulna.**

» 11. Sagittaler Längsschnitt durch die Mitte des Knochens.
» 12. Frontaler Längsschnitt, unmittelbar hinter der Incisura semilun.
» 13. » » durch die Mitte des Knochens.
» 14. Querschnitt durch den Olecranontheil.
» 15. » durch den Processus coronoideus.
» 16. » etwas unterhalb der Tuberositas ulnæ.

Fig. 17—21. **Radius.**

» 17. Frontaler Längsschnitt durch die Mitte des Knochens.
» 18. Querschnitt durch das Capitulum radii.
» 19. » durch den Radiushals.
» 20. » durch die Tuberositas radii.
» 21. » 1 cm unterhalb der Tuberositas radii.

Taf. II.

Die Spaltrichtungen in den Knorpeln der Ellenbogengelenks.

(Photographien; etwas verkleinert. Bei der Reproduktion ist die Schärfe der Linien theilweise verloren gegangen.)

Fig. 1—3. **Humerus.**

Fig. 1. Von vorne gesehen.
» 2. Von hinten gesehen.
» 3. Von unten (etwas von hinten) gesehen.

Fig. 4—5. **Ulna.**

» 4. Von vorne und ein wenig von unten gesehen.
» 5. Von vorne und oben gesehen.

Fig. 6—7. **Radius.**

» 6. Schräg von oben gesehen.
» 7. Von der medialen Seite gesehen.

Taf. III und IV.

Die Gelenkflächen des Ellenbogengelenks verschiedener Thiere.

Gemeinsame Zeichen.

u.	Ulna.	*sz.* (z)	Synovialzotten.
r.	Radius.	*lur*	Lig. ulnoradiale.
etr.	Epicondylus lateralis.	*lt*	Lig. teres radii.
ec.	Epitrochlea (Epicond. med.).	*letrr.*	Lig. epitrochleoradiale.
tr.	Trochlea.	*lecc.*	Lig. epicondylocoronoideum.
ch.	Capitulum humeri.	*ls*	Bicepssehne.

Anm. Die Unterarmknochen sind im Allgemeinen nicht ganz von vorne, sondern ein wenig mehr von der proximalen Seite gesehen.

Fig. 1. **Bufo vulgaris.** Rechter Arm. — A. Humerus von vorne. B. Os antibrachii von vorne. $^1/_1$.
» 2. **Pipa americana.** Linker Humerus von vorne. $^1/_1$.
» 3. **Salamandra maculosa.** Rechter Arm. — A. Humerus von vorne. B. Ulna und Radius von vorne. — $^2/_1$.
» 4. **Alligator missisipensis.** Linker Arm. — A. Humerus von vorne. B. Humerus von unten. C. Ulna und Radius von vorne. D. Ulna und Radius von der medialen Seite. (Junges Thier.) — $^1/_1$.

Fig. 5. **Ameiva vulgaris.** Linker Arm. — A. Humerus von vorne. B. Humerus von unten. C. Ulna und Radius von vorne. D. Ulna und Radius von der medialen Seite. — $^2/_1$.

» 6. **Testudo græca.** Rechter Arm. — A. Humerus von vorne. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 7. **Gallus domesticus.** Linker Arm. — A. Humerus von vorne. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 8. **Echidna aculeata.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^2/_3$.

» 9. **Didelphys Azaræ.** Rechter arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 10. **Perameles gunni.** Rechter Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 11. **Tatusia novemcinctata.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. (Embryo.) — $^3/_2$.

» 12. **Cycloturus didactylus.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 13. **Bradypus tridactylus.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_2$.

» 14. **Hystrix cristata.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^3/_2$.

» 15. **Lepus cuniculus.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

» 16. **Bos taurus.** Rechter Arm. A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. (Junges Thier.) — $^1/_2$.

» 17. **Scalops aquaticus.** Linker Arm. A. Humerus von vorne. B. Humerus von unten. C. Ulna und Radius von vorne. — $^3/_2$.

» 18. **Myogale moschata** Linker Arm. — A. Humerus von vorne und unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^3/_2$.

» 19. **Felis domestica.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

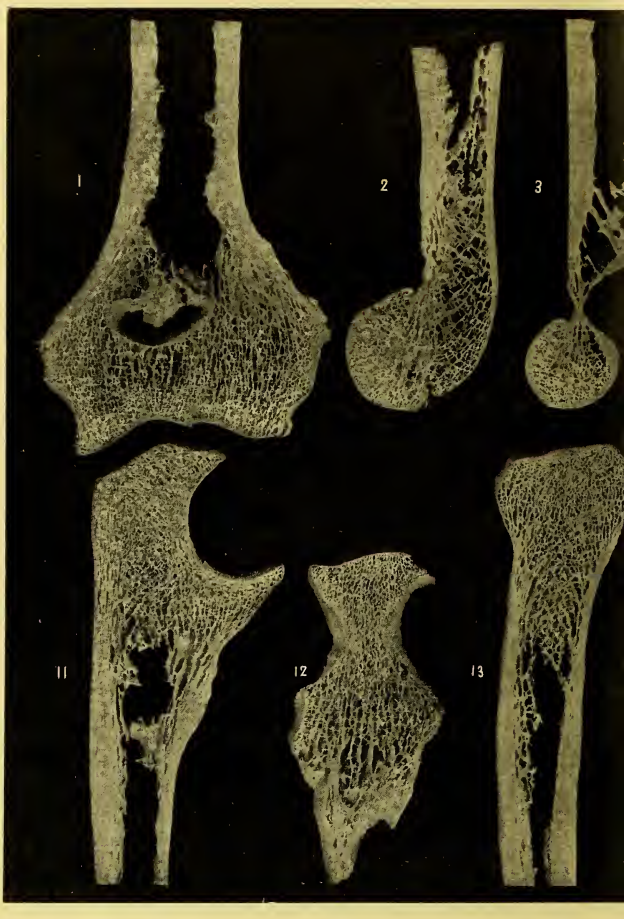
» 20. **Halichoerus grypus.** Rechter Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. Junges Thier. — $^1/_1$.

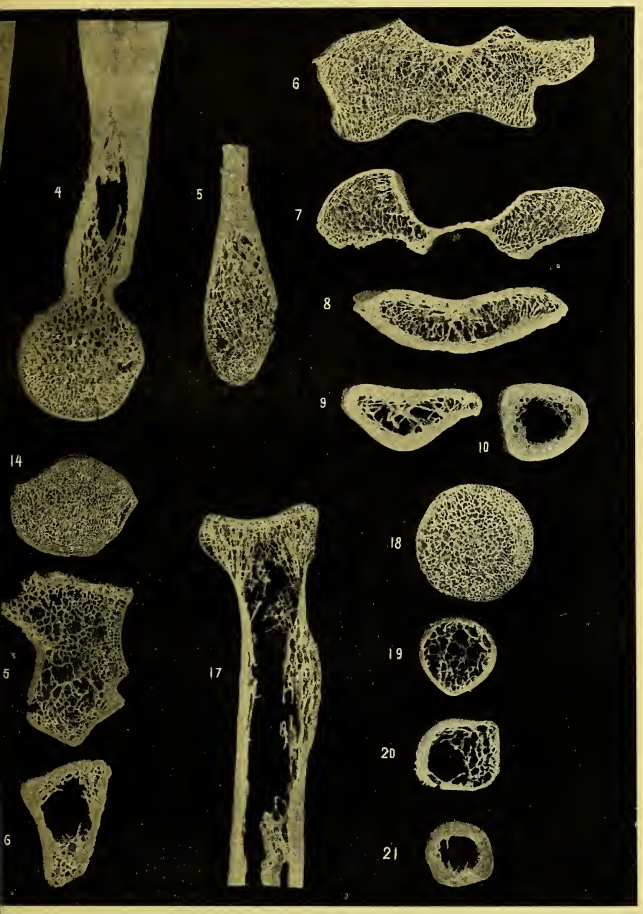
» 21. **Vesperugo noctula.** Linker Arm. — A. Humerus von vorne. B. Ulna und Radius von vorne. — $^3/_2$.

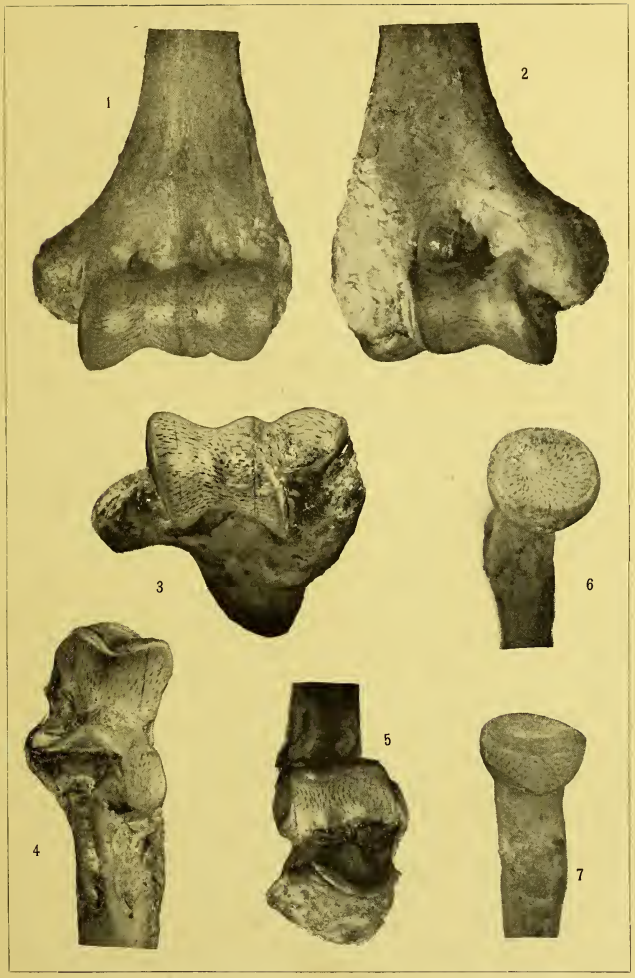
» 22. **Lemur varius.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_2$.

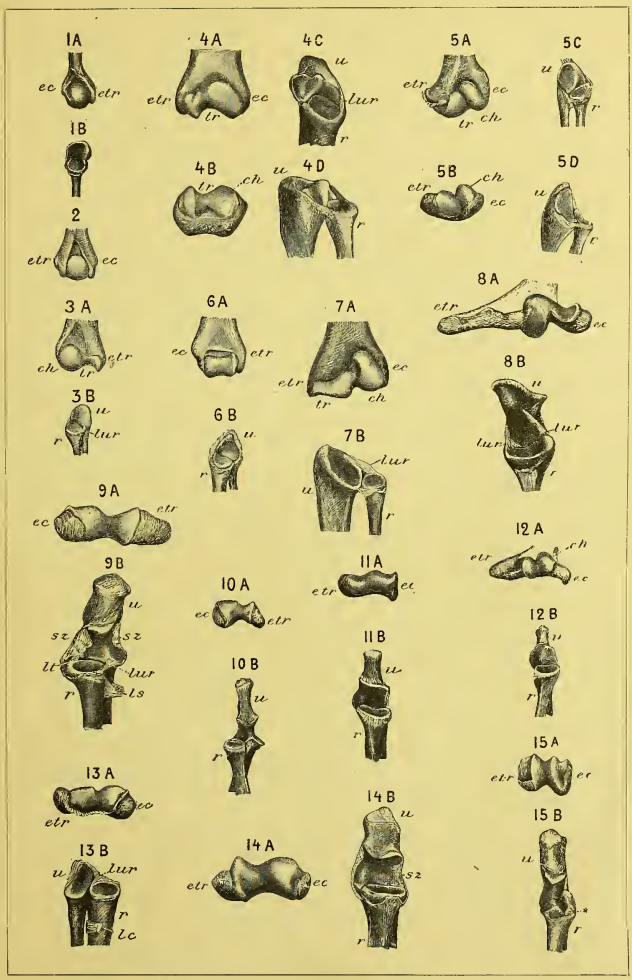
» 23. **Cynocephalus babuin.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.

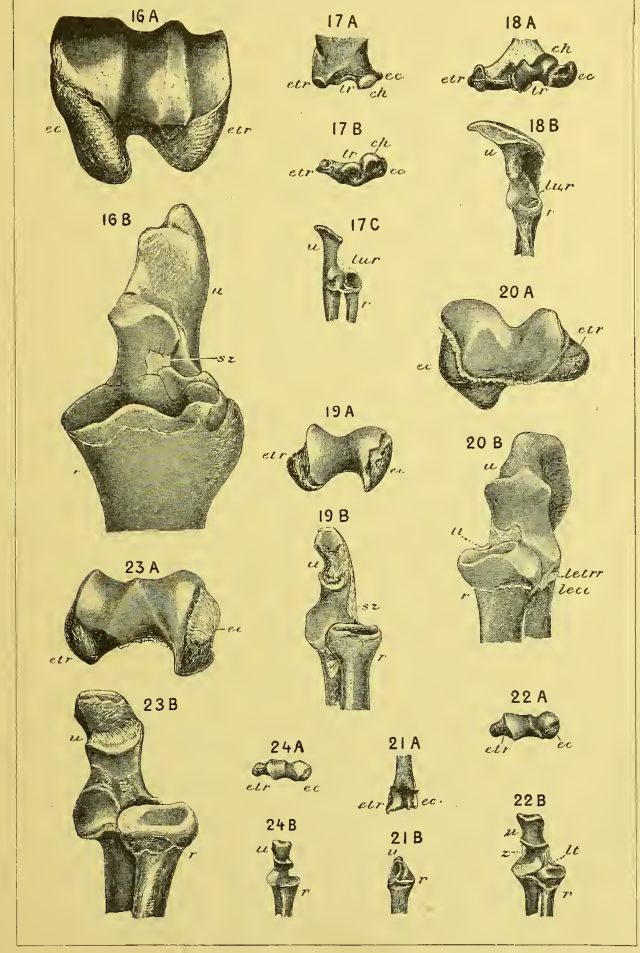
» 24. **Hapale jacchus.** Linker Arm. — A. Humerus von unten. B. Ulna und Radius von vorne. — $^1/_1$.


1
2
3
11
12
13


4
5
6
7
8
9
10
14
5
6
17
18
19
20
21


1
2
3
6
4
5
7


1A
ec
etr
1B
2
etr
ec
3A
ch
tr
gtr
3B
u
r
lur
9A
ec
etr
9B
u
sz
sz
lt
lur
r
ls
13A
ec
etr
13B
u
lur
r
lc
4A
etr
ec
tr
4B
tr
ch
4C
u
lur
r
4D
u
r
6A
ec
etr
6B
u
r
7A
ec
etr
tr
ch
7B
lur
u
r
10A
ec
etr
10B
u
r
14A
etr
ec
14B
u
sz
r
11A
etr
ec
11B
u
r
5A
etr
ec
tr
ch
5B
ch
etr
ec
5C
u
r
5D
u
r
8A
etr
ec
8B
u
lur
lur
r
12A
ch
etr
ec
12B
u
r
15A
etr
ec
15B
u
r


16 A
ec
etr
17 A
etr
ec
lr
ch
18 A
ch
etr
ec
lr
17 B
ch
tr
etr
ec
18 B
u
lur
r
16 B
u
sz
r
17 C
u
lur
r
20 A
etr
ec
19 A
etr
ec
20 B
u
ll
letrr
lecc
r
19 B
u
sz
r
23 A
ec
etr
22 A
etr
ec
23 B
u
r
24 A
etr
ec
21 A
etr
ec
22 B
u
z
lt
r
24 B
u
r
21 B
u
r

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Handbuch der Anatomie des Menschen in acht Bänden.

In Verbindung mit weiland Prof. Dr. A. von Brunn in Rostock, Prof. Dr. J. Disse in Marburg, Prof. Dr. Eberth in Halle, Prof. Dr. Eisler in Halle, Prof. Dr. Fick in Leipzig, Prosektor Dr. M. Heidenhain in Würzburg, Prof. Dr. F. Hochstetter in Innsbruck, Prof. Dr. M. Holl in Graz, Prof. Dr. Kuhnt in Königsberg, Privatdozent Dr. Mehnert in Strassburg, Prof. Dr. F. Merkel in Göttingen, Privatdozent Dr. Nagel in Berlin, Prof. Dr. Pfitzner in Strassburg, Prof. Dr. Puschmann in Wien, Prof. Dr. G. Schwalbe in Strassburg, Prof. Dr. Siebenmann in Basel, Prof. Dr. F. Graf Spee in Kiel, Prof. Dr. C. Toldt in Wien, Prof. Dr. Zander in Königsberg, Prof. Dr. Ziehen in Jena, Prof. Dr. Zuckerkandl in Wien herausgegeben von Prof. Dr. **Karl von Bardeleben** in Jena.

Seit der letzten Ausgabe von Sömmerring's grossem Werke, welche von Bischoff, Henle, Huschke, Theile, Valentin, Vogel und R. Wagner bearbeitet wurde, ist ein halbes Jahrhundert verflossen. Inzwischen ist kein derartiges Werk erschienen, während die Grundlagen der menschlichen Anatomie durch die Abstammungs- und Entwicklungslehre seit etwa 25 Jahren vollständig umgestaltet worden und heute wohl auch die letzten Reste der alten „Anatomie des Menschen" verschwunden sind. Ein Werk wie das von Henle wird voraussichtlich kaum je wieder geschrieben werden; ein Einzelner kann den in den letzten Jahrzehnten unter dem Einflusse der vergleichenden Anatomie und durch die schnellen Fortschritte der speciellen Entwicklungsgeschichte und der mikroskopischen Technik riesengross angewachsenen Stoff nicht mehr bewältigen, wenigstens nicht in wenigen Jahren, wie es unsere schnell lebende und schnell vergessende Zeit verlangt.

Das jetzt ins Leben tretende Handbuch soll den Stand unseres Wissens in der Anatomie des Menschen um die Neige des 19. Jahrhunderts in Wort und Bild zur Darstellung bringen. Unter Berücksichtigung der gesamten anatomischen Litteratur des In- und Auslandes wird sein Inhalt vor allem auf eigene Untersuchungen der Herren Mitarbeiter gegründet sein.

Die specielle Entwicklungsgeschichte, die Gewebelehre, ebenso die vergleichende Anatomie der Organe werden ebenso wie die Beziehungen der Anatomie zur Physiologie und zur Heilkunde berücksichtigt werden.

Die Darstellung soll zwar eine möglichst erschöpfende, aber doch knappe und klare sein.

Die neuere und die wichtigere ältere Litteratur werden am Schlusse der Abschnitte aufgeführt.

Eine besondere Sorgfalt wird auf die zahlreichen Abbildungen (etwa 3000) gelegt werden, welche dem Texte beigegeben werden sollen. Dieselben werden zum weitaus grössten Teile in Holzschnitt hergestellt und wo der Gegenstand es erfordert, in mehreren Farben ausgeführt werden; nur in solchen Fällen, in denen der Holzschnitt sich als ungeeignet erweist, werden Autotypien zur Verwendung kommen.

Die neue Nomenclatur der Anatomischen Gesellschaft wird zu Grunde gelegt werden, jedoch werden daneben auch deutsche, lateinische eventuell französische, englische oder italienische Synonyma angeführt.

Die Einteilung des Handbuchs und die Namen der betreffenden Herren Mitarbeiter sind folgende:

Band I. Skelet. 1. Abteilung: Allgemeines. Wirbelsäule. Thorax: Prof. Disse (Marburg). 2. Abteilung: Kopf: Prof. Graf Spee (Kiel). 3. Abteilung: Extremitäten: Dr. Mehnert (Becken) und Prof. Pfitzner (beide Strassburg).

Band II. Muskeln. 1. Abteilung: Stamm: Prof. Eisler (Halle). 2. Abteilung: Extremitäten: Prof. K. von Bardeleben (Jena).

Band III. Gefässe. 1.—3. Abteilung: Herz. Arterien. Venen: Prof. Hochstetter (Innsbruck). 4. Abteilung: Lymphgefässsystem: Prof. Zuckerkandl (Wien).

Band IV. Nervensystem. 1.—3. Abteilung: Centralnervensystem: Prof. Ziehen (Jena). 4. Abteilung: Periphere Nerven, Sympathicus: Prof. Zander (Königsberg)

Band V. Sinnesorgane. 1. Abteilung: Haut. Geruch. Geschmack: weiland Prof. von Brunn (Rostock). 2. Abteilung: Ohr. Aeusseres Ohr: Prof. G. Schwalbe: (Strassburg). Mittleres und inneres Ohr: Prof. Siebenmann (Basel). 3. Abteilung: Auge: Prof. Kuhnt (Wien).

Band VI. Darmsystem. 1. Abteilung: Atmungsorgane: Prof. Merkel (Göttingen). 2. Abteilung: Verdauungsorgane: weiland Prof. von Brunn (Rostock) und Prof. Toldt (Wien).

Band VII. Harn- und Geschlechtsorgane. Erster Teil: Harnorgane: Prof. Disse (Marburg). Zweiter Teil. Geschlechtsorgane. 1. Abteilung: Weibliche Geschlechtsorgane: Dr. Nagel (Berlin). 2. Abteilung: Männliche Geschlechtsorgane: Prof. Eberth (Halle). 3. Abteilung: Damm: Prof. Holl (Graz).

Band VIII. Allgemeine Anatomie. Geschichte und Litteratur. 1. Abteilung: Zelle: Dr. M. Heidenhain (Würzburg). 2. Abteilung: Gewebe: Prof. Eberth (Halle). Prof. K. von Bardeleben u. A. 3. Abteilung: Geschichte und Litteratur: Prof. Puschmann (Wien).

Der Umfang des Werkes wird mindestens 250 Bogen betragen.

Der Preis eines Bandes und einer Abteilung wird sich nach dem Umfange richten, derjenige des ganzen Werkes soll 125 Mark nicht überschreiten.

Jede Abteilung wird einzeln, aber zu erhöhtem Preise käuflich sein. Bestellungen auf das „Handbuch der Anatomie" nimmt eine jede Sortimentsbuchhandlung Deutschlands und des Auslandes entgegen.

Bereits erschienen sind:

Lieferung 1: **Skeletlehre.** Abteilung I: **Allgemeines. Wirbelsäule. Thorax.** Von Professor Dr. Disse in Marburg. Mit 69 Abbildungen (Originalholzschnitten) im Text. Preis für Abnehmer des ganzen Werkes 3 Mark, Einzelpreis 4 Mark.

Allgemeine Medicin. Centralzeitung, Berlin, 25. VII. 1896.

. . . Der Gedanke, ein solches ausführlich angelegtes Handbuch der Anatomie herauszugeben, muss als durchaus zeitgemäss bezeichnet werden, da unseres Wissens kein modernes anatomisches Werk gleichen Umfanges in deutscher Sprache existirt. Die erste Lieferung bietet den Anfang der „Skeletlehre", bearbeitet von Prof. Disse (Marburg), Prof. Graf Spee (Kiel) Dr. Mehnert (Strassburg), Prof. Dr. Pfitzner (Strassburg). Ausser der allgemeinen Einleitung enthält die Lieferung die Darstellung des Aufbaues und des Wachstums der Knochen im Allgemeinen und beginnt den speciellen Teil mit der Schilderung der Wirbelsäule und der Thoraxknochen. . . . Alles in Allem haben wir es im vorliegenden Handbuch mit einer wertvollen Bereicherung der deutschen medicinischen Litteratur zu thun, und es ist nicht daran zu zweifeln, dass das Unternehmen allseitig günstige Aufnahme finden wird. Nicht nur der Fachanatom, sondern auch die Aerzte, insbesondere die Specialärzte, sind an einem Werke wie das vorliegende interessiert; letztere sind in der Lage, sich einzelne Teile des Handbuchs, welche für ihre speciellen Zwecke in Betracht kommen, anzuschaffen, da die Verlagsbuchhandlung die einzelnen Lieferungen auch separat verkauft.

Lieferung 2: **Harn- und Geschlechtsorgane.** II. Teil. Abteilung I. **Die weiblichen Geschlechtsorgane.** Von Dr. W. Nagel, Privatdocent an der Universität in Berlin. Mit 70 teilweise farbigen Originalholzschnitten. Preis für Abnehmer des ganzen Werkes 5,50 Mark, Einzelpreis 7 Mark.

Centralblatt für Chirurgie No. 38, 19. IX. 1896.

. . . Auf keinem Gebiet der Anatomie ist in den letzten Jahren durch das Zusammenarbeiten von Klinikern und Anatomen so viel Uebereinstimmung erzielt worden, als auf demjenigen, welches Nagel bearbeitet hat. Er ist dieser Aufgabe in gründlicher und objektivster Weise gerecht geworden, und wir zweifeln nicht, dass seine Arbeit bei Anatomen und Gynäkologen gleichmässig Anklang finden wird. Jaffé (Hamburg).

Wiener klinische Wochenschrift, 12. XI. 1896.

. . . Theoretiker wie Praktiker, beide werden in gleicher Weise von dem Inhalt der zweiten Lieferung dieses anatomischen Handbuches befriedigt sein, denn Nagel's Abhandlung über „die weiblichen Geschlechtsorgane" reicht zu dem Besten heran, was wir in der Litteratur besitzen.

Lieferung 3: Band I: **Skeletlehre.** Abteilung II: **Kopf.** Von Prof. Dr. Graf Spee in Kiel. Mit 102 teilweise farbigen Originalholzschnitten. Preis für Abnehmer des ganzen Werkes: 9 Mark, Einzelpreis: 11 Mark 50 Pf.

Wiener Medicinische Wochenschrift No. 5, 30. I. 1896.

. . . Die beigegebenen 102 Illustrationen, fast durchwegs auf schwarzem Grunde ausgeführt, übertreffen an Plastik und Schärfe der Details Alles, was wir bisher an Abbildungen der Schädelknochen gesehen haben. Der Grund liegt darin, dass, abgesehen von der exakten Ausführung durch den Zeichner, durchwegs Holzschnitte zur Anwendung gekommen sind. . . . Wir machen auf zwei Illustrationen besonders aufmerksam, Fig. 89 Ansicht des Schädels von unten und Fig. 90, die Schädelbasis, die an künstlerischem Effekt und Perspektive, dabei gleichzeitig in ihren Details überhaupt nicht mehr zu übertreffen sind. Diese Lieferung ist geeignet, dem Werke eine grosse Zahl von Freunden zuzuführen.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 7159